

氯化物水型盐碱池塘浮游植物叶绿素 a 的研究¹

赵 文¹, 董双林¹, 戴昀娣², 张美昭¹, 张兆琪¹

(1: 青岛海洋大学教育部水产养殖开放研究实验室, 青岛 266003;

2: 吉林农业大学食品工程学院, 长春 130118)

提 要 于1997年4月至1998年9月对山东省高青赵店渔场(37°17'N, 117°55'E)的盐碱池塘叶绿素进行了调查研究。结果表明, 盐碱池塘叶绿素总量平均为115.12 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 叶绿素 a 平均含量为73.90 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 占叶绿素总量的61.76%, 叶绿素 b 和叶绿素 c 分别占总量的12.97%和25.27%。叶绿素 a 含量的季节变动较大, 有明显盛夏和初秋高峰期。无鱼对照池的叶绿素 a 比养鱼池塘低得多。叶绿素 a 的昼夜变化与垂直分布变化较大, 但不遵循同一模式。盐碱池塘叶绿素 a 含量与浮游植物生物量、水温、总氮、总磷和硅酸盐显著正相关, 与透明度显著负相关, 而与盐度、碱度、pH、硬度、电导率均无规律性联系。

关键词 叶绿素 a 生物量 浮游植物 生态因子 盐碱池塘

分类号 Q945.11

叶绿素是藻类光合作用的基本色素(叶绿素、类胡萝卜素和藻胆素)之一。叶绿素有 a, b, c, d, e 五种类型, 其中叶绿素 a 是所有进行放氧光合作用的基本光合作用色素, 存在于所有藻类和除光合细菌之外的所有光合生物中, 常作为水域生态系统生产性能的重要指标。我国海洋、淡水水体的叶绿素已有较多研究^[1-6], 而关于内陆盐碱池塘浮游植物叶绿素 a 的研究只见零星报道^[3]。本文报道氯化物水型盐碱池塘浮游植物叶绿素 a 含量的季节变化及其与浮游植物生物量和一些生态因子的关系, 旨在为进一步研究盐碱池塘环境生物学特征及为科学管理盐碱池塘水质、提高养鱼效益提供依据。

1 材料和方法

试验于1997年4月至1998年9月在山东省高青县赵店乡渔场(37°17'N, 117°55'E)的土池或设置于池塘中的围隔内进行。1997年4月至1998年4月研究的池塘分为无鱼对照池(1[#]、5[#]、0[#]、00[#])、主养鲢鱼池(2[#]、15[#]、19[#])、主养罗非鱼池(3[#]、8[#]、20[#])、主养草鱼池(4[#]、7[#]、17[#])、白鲢鲤鱼池(21[#])和草鲢鱼种池(14[#])。其余池塘(6[#]、9-13[#]、16[#]、18[#]池)均为主养草鱼池。1998年5-9月仅对主养草鱼的4[#]池、主养鲢鱼的6[#]池、3[#]池及主养罗非鱼的01[#]池进行研究。池塘面积一般为0.20-0.3 hm^2 。水深平均在1.8-2.0m左右。养殖过程中一般空白池不做任何处理, 但00[#]池于1997年10月被用作养鸭池, 接受了大量的鸭粪。养鱼池在放

• 国家“九五”攻关课题(960080401)和国家杰出青年基金(39725023)资助项目。

收稿日期: 2000-01-25; 收到修改稿日期: 2000-04-26。赵文, 男, 1963年生, 博士, 副教授。现在大连水产学院养殖系工作(116023)。Email: zhaowen@mail.dlptt.ln.cn.

鱼前一般施用禽畜粪便等有机肥,放鱼后采用尿素、磷酸二氢铵等无机肥仅对主养白鲢池塘进行 2—3 次的少量施肥。主养白鲢池塘和和鲈鱼池少量投饵,其它养鱼池定期投饵。调查期间年平均水温为 20℃,最高水温 35℃,最低水温出现在 1 月份,为 2℃,池塘在 12 月至 2 月间有近 70 天的冰盖。pH 值变动于 8—9 之间。平均盐度变动于 $1.82-9.26\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,最大盐度出现在 00[#]池,高达 $20\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。养鱼池盐度多在 $2.5-6\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。总碱度变动于 $2.40-7.10\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,多在 $5\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右。在离子组成上,均为氯化物型钠组 I 或 II 型水。

试验期间,共采集 319 个水样。采集后在实验室内用孔径为 $0.45\mu\text{m}$ 的醋酸纤维素滤膜抽滤,抽滤水样体积一般为 50—100mL。测定方法系用 95% 丙酮做萃取液的分光光度法^[10,11],叶绿素计算参照 Jeffery-Humphery(1975)的修订法进行。

1997 年 7 月对 4[#]池,1998 年 8 月和 9 月分别对单养鲢鱼围隔 S3 和单养罗非鱼围隔 T1 共进行了 4 次叶绿素 a 周日(白天)分配和昼夜分配的研究。周日分布每 2h 采样一次,昼夜分布每 4h 采样一次,用水生生物所 80—1 型采水器分 5 层进行采样,将每次样品各层数据平均,得水体平均叶绿素 a 含量。以双面涂塑高密度聚乙烯编织布为围幔,以青竹为支架,将围隔架设于上述池塘中,每个围隔面积为 $4\text{m}\times 5\text{m}$ 。围幔上部超出水面 0.3m,下部埋入池底 0.5m。池塘设置围隔前用生石灰彻底清塘,设置好后同时进水,保证放鱼前各围隔无鱼且浮游生物和水质基本一致。放鱼时间为 4 月 20 日,收鱼时间为 7 月 13 日。围隔 S2 放养鲢 $10000\text{ind}\cdot\text{hm}^{-2}$,围隔 T1 放养罗非鱼也是 $10000\text{ind}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。实验期间通过把地下井水注入池塘以补充水的蒸发和渗漏损失,保持围隔内水深为 1.4m 左右。围隔实验期间水温为 18.5—32.2℃,电导率为 $1050-2400\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。总碱度为 $3.02-5.64\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

2.1 盐碱池塘的叶绿素 a 含量

池塘浮游植物叶绿素的测定结果示于表 1。从表 1 可见,浮游植物叶绿素 a 的平均含量 20[#]池最高,为 $151.46\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,叶绿素总量也最高,为 $238.39\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$;9[#]叶绿素 a 最低,仅为 $6.54\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,这与采样少且是放养早期有关。叶绿素 a 的总平均含量为 $73.90\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,叶绿素总量的平均值为 $115.12\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。叶绿素 b 含量也是在 20[#]池最高,为 $30.29\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,18[#]池最低,为 $2.55\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,其总平均含量为 $13.83\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。叶绿素 c 含量 16[#]池最高,为 $59.95\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,9[#]池最低,为 $6.15\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,其总平均含量为 27.39%。从平均值来看,叶绿素 a 的相对含量(Chla/B),即叶绿素 a 与浮游植物生物量的比值平均为 0.22。

由于藻类中只有裸藻和绿藻含有叶绿素 b,蓝藻、裸藻和绿藻无叶绿素 c,因此叶绿素 a、b、c 之间的比例可大致反映藻类组成。高青盐碱池塘浮游植物中硅藻占优势,大多数池塘中金藻、甲藻和隐藻等鞭毛藻类占有相当比重,因此叶绿素 c 占总量的比例都比叶绿素 b 的高。

总体来看,319 个叶绿素样品中,叶绿素 a 的平均值是 $73.90\pm 72.34\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,极值是 $1.70-444.76\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。叶绿素 a 含量小于 $3\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的样品占 2.51%,多出现在无鱼对照池。 $3-5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的占 4.39%, $5-10\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的占 8.15%,大于 $10\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的占 84.95%(图 1)。

2.2 叶绿素 a 含量的时空分布

2.2.1 叶绿素 a 含量的季节变化 各类型池塘浮游植物叶绿素 a 含量存在着明显的季节变化(图 2),其共同特点是都有盛夏和初秋的高峰,冬春两季一般较低。无鱼对照池叶绿素 a 含

表1 高青盐碱池塘浮游植物的叶绿素的平均含量¹⁾

Tab. 1 The mean chlorophyll contents of phytoplankton from saline-alkaline ponds in Gaoqing

池塘	样品数 /ind	平均生物量 /mg·L ⁻¹	叶绿素a		叶绿素b		叶绿素c		总量 (a+b+c)	相对含量 /%
			现存量	%	现存量	%	现存量	%		
1 [#]	26	18.70	15.24	55.59	4.93	17.99	7.24	26.42	27.42	0.20
2 [#]	27	35.35	55.12	61.76	10.99	12.32	23.13	25.91	89.24	0.20
3 [#]	27	32.23	47.19	61.82	10.12	13.26	19.02	24.92	76.33	0.21
4 [#]	28	51.43	78.34	62.68	15.78	12.63	30.86	24.69	124.98	0.16
5 [#]	21	14.19	21.48	58.69	5.68	15.51	9.45	25.80	36.60	0.23
0 [#]	20	75.49	85.53	59.15	19.73	13.64	39.34	27.21	144.59	0.15
00 [#]	21	24.29	25.41	54.47	8.42	18.06	12.82	27.48	46.66	0.45
7 [#]	18	76.48	108.42	63.12	22.67	13.20	40.68	23.68	171.76	0.16
8 [#]	15	106.45	109.41	64.87	23.23	13.78	36.01	21.35	168.65	0.11
14 [#]	12	104.19	130.46	67.01	20.30	10.43	43.92	22.56	194.68	0.15
15 [#]	19	69.45	95.18	65.96	16.87	11.69	32.25	22.35	144.31	0.20
17 [#]	12	75.72	115.48	68.50	15.80	9.37	37.29	22.12	168.58	0.19
19 [#]	15	67.50	146.10	66.44	25.37	11.54	48.43	22.02	219.91	0.27
20 [#]	16	123.07	151.46	63.53	30.29	12.70	56.64	23.76	238.39	0.14
21 [#]	10	42.14	68.92	60.97	16.71	14.78	27.40	24.24	113.04	0.19
6 [#]	2	36.71	48.66	65.58	10.31	13.90	15.22	20.52	74.19	0.11
9 [#]	1	3.999	6.54	41.59	3.04	19.32	6.15	39.09	15.72	0.16
10 [#]	1	17.49	15.61	55.88	3.29	11.76	9.04	32.35	27.94	0.09
11 [#]	4	28.80	80.15	64.89	14.03	11.36	29.33	23.74	123.51	0.24
12 [#]	3	25.25	33.22	52.36	12.84	20.24	17.38	27.40	63.45	0.12
13 [#]	3	57.36	34.08	56.70	12.18	20.26	13.85	23.04	60.10	0.06
16 [#]	1	40.32	104.33	55.09	25.08	13.25	59.95	31.66	189.36	0.26
18 [#]	1	14.22	20.18	55.33	2.55	7.00	13.74	37.68	36.48	0.14
98-01 [#]	4	49.73	59.49	59.05	11.89	11.80	29.37	29.15	100.75	0.13
98-6 [#]	4	31.93	97.88	66.75	12.40	8.46	36.36	24.79	146.64	0.31
98-3 [#]	4	33.01	121.79	72.55	13.68	8.15	32.39	19.30	167.86	0.41
98-4 [#]	4	16.07	119.54	87.19	5.28	3.85	12.28	8.96	137.10	0.91
平均		47.10	73.90	61.76	13.83	12.97	27.39	25.27	115.12	0.22

1) 现存量单位为 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 相对含量为叶绿素a与浮游植物生物量的比值。

量较低,但0[#]和00[#]池(特别是0[#]),由于秋末冬季接受大量养鸭废水,虽然水温较低,又有冰盖,但营养盐丰富,一些适应性强能耐低温且喜有机质的浮游植物如小环藻(*Cyclotella* sp.)、隐藻(*Cryptomonas ovata*)、天蓝胞藻(*Cyanomonas coeruleus*)、黄绿等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)、绿裸藻(*Euglena viridis*)等大量发生,因此叶绿素a含量高峰出现在冬季和早春(图2),17[#]池是例外,早春叶绿素a含量最高。这与鱼类放养早期施肥量大出现藻类水华有关。

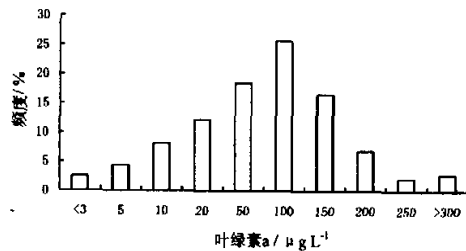


图1 盐碱池塘浮游植物叶绿素a含量的频数分布
Fig. 1 The frequency of chlorophyll a of phytoplankton in saline-alkaline ponds

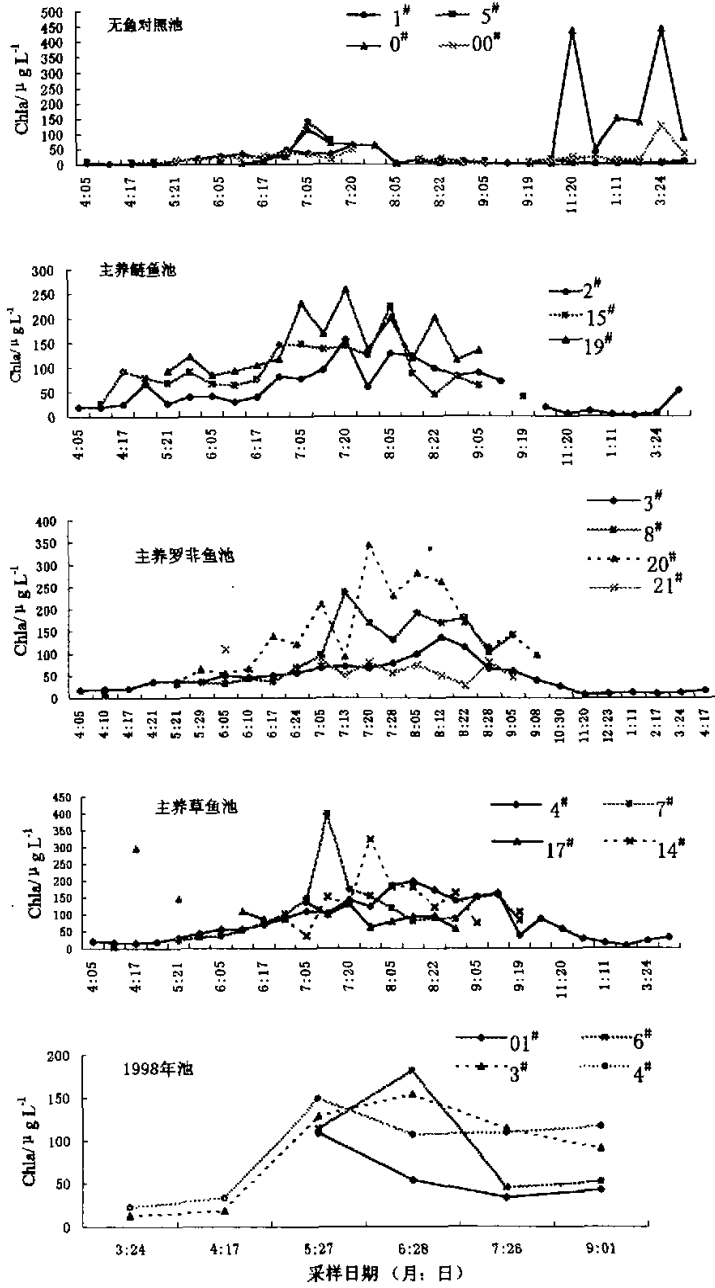


图2 各类盐碱池塘浮游植物叶绿素a含量的季节变化

Fig. 2 The seasonal dynamics of Chlorophyll-a in saline-alkaline fish-culture ponds

2.2.2 昼夜分布 从表 2 可见,叶绿素 a 的白天分布并不遵循同一模式,不同生态系的变化较大.1997 年 7 月 24 日 4[#]池叶绿素 a 白天的变幅为 $163.06-200.78\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,最大值出现在 14:00.1998 年 9 月 2 日,围隔 S2 白天叶绿素 a 变幅为 $34.42-76.35\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,最大值出现在 10:00,1998 年 8 月 25 日,围隔 S2 和 T1 叶绿素 a 昼夜变化幅度同样较大.S2 的变幅为 $32.21-93.74\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,T1 的变幅为 $22.36-67.22\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,两者叶绿素 a 含量的最大值都出现在 8:00,前者叶绿素 a 最小值出现在 16:00 时,而后者却出现于 20:00,且全天叶绿素 a 的最大值出现在 4:00.

表 2 盐碱池塘浮游植物叶绿素 a(Chla, $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)的昼夜分布
Tab. 2 The diurnal distribution of chlorophyll-a in saline-alkaline ponds

时 间	1997-07-24(4 [#] 池)	1998-09-02(围隔 S2)	1998-08-25(围隔 S2)	1998-08-25(围隔 T1)
6:00	173.26	60.24		
8:00	180.96	67.91	93.74	53.01
10:00	163.06	76.35		
12:00	179.38	54.47	59.99	39.31
14:00	200.78	46.51		
16:00	177.80	42.4	32.21	24.33
18:00	175.71	34.42		
20:00			46.02	22.36
0:00			61.34	24.75
4:00			51.07	67.22
6:00	146.43	50.2		
8:00			49.38	62.79

2.2.3 垂直分布 从图 3 可见,浮游植物叶绿素 a 存在着明显的垂直变化.其垂直变化反映了浮游植物生物量和初级生产力的变化,因而这种垂直变化主要受光照强度的影响,6:00 时(水表面光强为 9200lx),25cm 处叶绿素 a 含量最高,底层含量次之,8:00 时(光强为 50000lx),上下层分布较均匀,75cm 处稍高,10:00 时(光强为 79000lx)分布同样较均匀,25cm 处较低,从 6:00 开始至 10:00,随着光照强度逐渐增强,表层叶绿素 a 逐渐升高,亚表层(25cm 处)叶绿素 a 下降,向中下层下沉,12:00 的(光强 102000lx)表层由于浮游植物光抑制,表层叶绿素 a 最低.从 10:00 至 14:00 时(光强为 99300lx)系一天中光合作用较强烈的时候,表层叶绿素 a 开始向下沉降,亚表层和中层含量较高.16:00 时(光强为 54300lx)开始至次日 6:00 时(光强为 9200lx)表层和亚表层含量又升高.显然这与藻类对光的适应和鞭毛藻类的昼夜垂直移动及水体热动力学有关.总之,浮游植物叶绿素垂直分布的规律性不甚明显.但是,若把每一水层中不同时间所测定的叶绿素 a 值累加起来,便得到一个有规律的白天分布(图 3),叶绿素 a 亚表层最高,表层次之,底层叶绿素 a 含量并非最低,而是稍高于中下层.此结果与刘建康^[12]的结论基本一致.

2.3 盐碱池塘叶绿素 a 含量与若干生态因子的关系

浮游植物种类、数量与受水温、氮、磷等因子制约.作为浮游植物叶绿素的重要组成成分并且在各门藻类中均含有的叶绿素 a 也同样受上述诸多生态因子的影响.从表 3 可见,在所调查的盐碱池塘中,浮游植物叶绿素 a 与浮游植物生物量、水温、总氮、总磷、硅酸盐显著正相关,而

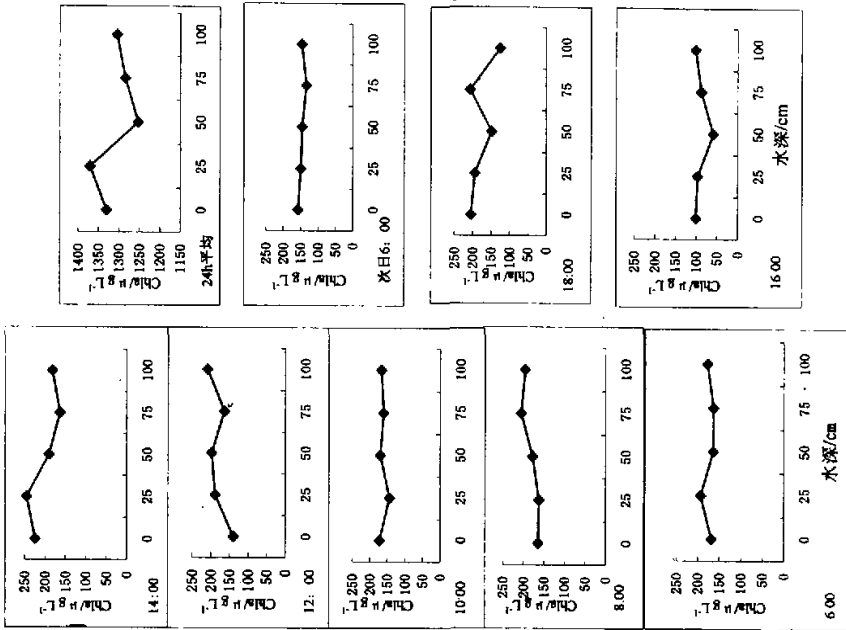


图3 盐碱鱼池叶绿素a的垂直分布的日变化

Fig. 3 The vertical distribution of chlorophyll a in saline-alkaline ponds

与叶绿素 a 相对含量(Chla/B,%)、透明度显著负相关.叶绿素 a 与盐度、碱度(Alk)、pH、电导率和硬度并无显著的关系.

盐碱池塘浮游植物叶绿素 a 与生物量呈正相关,无论是直线回归还是幂指数回归,二者均呈极显著的正相关,幂指数回归相关系数更高,可以用此方程式进行二者的换算.

表3 盐碱池塘叶绿素 a(Chla)含量(μg · L⁻¹)与若干生态因子的相关性分析

Tab. 3 Regression analysis of the effect of some ecological factors on chlorophyll a in saline-alkaline ponds

生态因子	关系式	r 值或 R 值	n	显著性检验
浮游植物生物量 B/mg · L ⁻¹	a. Chla=0.8174B+32.03	r=0.641	319	P<0.01
	b. Chla=3.3627B ^{0.764}	R=0.818	319	P<0.01
	c. Chla/B(%)=0.3363 B ^{-0.236}	R=0.402	319	P<0.01
水温 T/°C	Chla=7.79+2.97T	r=0.363	290	P<0.01
透明度 SD/cm	Chla=23952 SD ^{-1.9469}	R=-0.755	254	P<0.01
总磷 TP/mg · L ⁻¹	Chla=44.73 TP+65.91	r=0.363	174	P<0.01
总氮 TN/mg · L ⁻¹	Chla=27.89 TN-46.13	r=0.510	174	P<0.01
硅酸盐 SiO ₃ /mg · L ⁻¹	Chla=19.34SiO ₃ -9.29	r=0.374	174	P<0.01

从表 1 可以看出,高青盐碱池塘 319 个水样叶绿素 a 相对含量(Chla/B)的总平均值为 0.22%,变动于 0.01%—2.98%之间.叶绿素 a 与生物量的比值由于藻类群落组成、生态环境、藻类生理状态和测算方法不同而存在较大的变化.不同类群的浮游植物中叶绿素相对量各不相同,一般单位生物量中的叶绿素含量,绿藻、隐藻、裸藻高于硅藻、金藻和甲藻^[6];藻类生长旺盛时期高于衰亡时期.光照条件对叶绿素相对含量也有显著影响,一般随光照的减弱,浮游植物的叶绿素相对含量增加.有的学者指出,一些浮游藻类(如硅藻)当光照强度减弱时遵循另外一种适应方式,即不是靠增加叶绿素含量,而是降低光合作用的光饱和值^[16,17].相关分析表明,高青盐碱池塘浮游植物叶绿素 a 相对含量随透明度降低而有增大趋势($r = -0.120$),但相关并不显著.

目前,关于叶绿素 a 相对含量与富营养化和营养盐的关系存在几种不同的观点.一种观点认为,随着富营养化的增加,叶绿素的相对含量也增加,这种观点主要是通过分析某些湖泊营养盐和叶绿素相对含量的季节变化而得出^[18,19],但并未获得统计学上的证明.第二种观点认为,随着富营养化的增强,叶绿素相对含量并不改变^[20],并在统计学上得到证明,另外一种观点认为随着富营养化增强,叶绿素的相对含量下降^[6,12,13],这主要是在分析叶绿素和生物量的指数关系后得出的.作者对高青盐碱池塘叶绿素相对含量和生物量进行回归分析得出的关系式(表 3)表明,随着生物量升高,叶绿素相对含量显著下降,当生物量较低时,随着生物量的升高,Chla/B 急剧下降.当生物量约达到 $10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上时,这种下降趋势开始缓慢.资料表明,Chla/B 平均多在 0.2%—0.4%之间,而最高值为 1%—3%.本研究结果显示该比值平均为 0.22%,最大值为 2.68%,这再次证实了上述观点,同时也支持了关于随着水体富营养化增强叶绿素相对含量下降的观点.

总之,叶绿素 a 与生物量之间的换算,无论采用直线方程还是曲线方程,都必须适当考虑所研究水体的藻类组成、理化特征和营养类型.实际应用中必须加以验证,以避免盲目性.

参 考 文 献

- 吕培顶.渤海水域叶绿素 a 的分布初级生产力的估算.海洋学报,1984,6:90—98
- 费尊乐等.渤海生产力研究.1.叶绿素 a 的分布特征和季节变化.海洋学报,1988,10:99—106
- 黄良民.大亚湾叶绿素 a 的分布及影响因素.海洋学报,1989,11:769—779
- 潘友联等.胶州湾口内海水中叶绿素浓度的周年变化和垂直分布.海洋与湖沼,1985,26(1):22—27
- 郭明新.养鱼池水的叶绿素含量.淡水渔业,1982,(5):15—22
- 王 骥,王 建.浮游植物叶绿素 a 含量、生物量、生产量相互换算中的若干问题.武汉植物学研究,1984,2(2):249—258
- 谢 平.武汉东湖浮游植物叶绿素 a 含量的季节变化及其影响因素.见:刘建康主编,东湖生态学研究(二),北京:科学出版社,1995.178—187
- 高玉荣.北京四海浮游藻类叶绿素含量与水体营养水平的研究.水生生物学报,1992,16(3):237—244
- 杨云英.半咸水化肥养鱼池塘中叶绿素含量的研究.淡水渔业,1986,(6):24—26
- 李淑青等.实验室叶绿素 a 浓度测定.海洋环境科学,1988,7(2):78—82
- 王 建,王 骥.浮游植物叶绿素与脱镁叶绿素的测定方法.武汉植物学研究,1984,2(2):321—328
- 刘建康.东湖生态学研究(一).北京:科学出版社,1990.77—94
- 阎喜武,郭海军,何志辉.用叶绿素法测定虾池浮游植物初级生产力.大连水产学院学报,1998,13(2):9—16
- Voros L, Padisak. Phytoplankton biomass and chlorophyll-a in some shallow lakes in central Europe. *Hydrobiologia*, 1991, 215:111—119

- 15 宁修仁等. 西湖水域初级生产力和富营养化的调查研究. 海洋与湖沼, 1989, 20(4): 365—374
- 16 斯蒂曼—尼尔森. 海洋光合作用. 北京: 科学出版社, 1979
- 17 维诺格拉多夫. 海洋生物结构. 北京: 科学出版社, 1985
- 18 Tett P, *et al.* The carbon and chlorophyll:carbon ratio in marine phytoplankton. *Limnol Oceanogr*, 1975, 20: 587—603
- 19 Riemann B, *et al.* The carbon and chlorophyll content of phytoplankton from various nutrient regimes. *J Plankton Res*, 1989, 11: 1037—1045
- 20 Pridmore R D, *et al.* Does the chlorophyll-a content of phytoplankton vary with trophic status in lakes on the New Zealand central volcanic plateau? *J Plankton Res*, 1989, 11: 588—593

Studies on Phytoplankton Chlorophyll-a in Saline-Alkaline Ponds with Chloride Water Type

ZHAO Wen¹ DONG Shuanglin¹ DAI Yundi² HANG Meizhao¹ ZHAN Zhaoqi¹

(1: The Open Laboratory of Aquaculture Research, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China;

(2: Food Engineering College, Jilin Agriculture University, Changchun 130118, China)

Abstract

The chlorophyll of phytoplankton in saline-alkaline ponds in Zhaodian Fish Farm (Latitude 37°17'N, Longitude 117°55'E), Gaoqing County, Shandong Province, during April 1997 to September 1998, was measured. 319 samples were collected. The results indicated that the mean concentration of chlorophyll in experimental ponds were $115.12 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, mean concentration of chlorophyll-a were $79.90 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. The percentage of the content of Chla, Chlb and Chlc to total concentration of chlorophyll was 61.76%, 12.97% and 25.27%, respectively. The concentrations of Chla had obvious seasonal dynamics, and have a peak value in summer and early autumn. The concentration of Chla in control ponds was much smaller than that fish-culture ponds. The temporary and spatial changes of Chla were greater, but the pattern of dynamics is not unit. The concentration of Chla in experimental ponds have significant positive correlation to the biomass of phytoplankton, water temperature, total nitrogen, total phosphorus and silicon, and negative correlation to water transparency. No regular correlation of Chla concentration to salinity, alkalinity, pH, hardness and conductivity is found.

Key Words Chlorophyll-a, biomass, phytoplankton, ecological factors, saline-alkalinity ponds

土壤水环境中有机污染物 生物处理过程模型研究

刘 凌 崔广柏

(河海大学水资源开发利用国家专业实验室, 南京 210098)

提 要 生物处理是一种经济有效处理土壤水环境中有机污染物的手段. 本文在研究土地生物处理过程的基础上, 建立了综合描述有机污染物在土壤-水-微生物系统中扩散、吸附/解吸、屏蔽和生物降解过程的数学模型. 为确定模型中各参数在模型计算中的作用和相对重要性, 进行了参数灵敏度分析. 预计数学模型可以定量预测有机污染物进行土地生物处理所需的时间和程度, 为构建土地生物处理工程提供参考.

关键词 有机污染物 生物降解 土壤水环境 模拟 参数灵敏度分析

分类号 X131

土壤及相连的水环境(简称土壤水环境)历来是工农业生产废物堆积、散布的场所, 当其中有机污染物的含量超过其环境容量的限度时, 就必须采取一定的处理措施, 降解其浓度到环境容量的允许范围内. 土地生物处理是目前常用的一种处理方法, 它能有效降解土壤水环境中的有机污染物, 并将其转化为 CO_2 和水等. 但是人们在实践中也发现^[1], 当用这种方法来处理一些高分子量的有机污染物时, 处理到一定阶段后, 降解几乎停止, 土壤中残余的有机污染物(5%—40%)无法被彻底降解掉. 为说明残余有机污染物在土壤中的滞留性, 近年来, 在大量研究的基础上, 提出一种土壤颗粒内部屏蔽理论^[2], 该理论认为土壤固体物质(如有机质)与有机污染物之间存在着非可逆的结合(或吸附)现象, 其方式类似于自然的腐殖化, 结合的结果是将有机污染物屏蔽, 被屏蔽的有机污染物有相当高的稳定性, 它固定于土壤固定相, 失去原有的化学和生物学特性, 毒性和渗透性均大为降低, 在土壤颗粒内部保持相对稳定, 不再对外部环境造成危害, 这就是土壤颗粒内部的屏蔽过程. 此过程通常是不可逆的. 因此在土地生物处理过程中, 只要把土壤中可逆吸附的有机污染物全部降解完毕而只剩下不可逆屏蔽的残余有机污染物时, 土地生物处理就可以结束, 这就是土地生物处理的终点. 如果没有认识到这一土壤屏蔽过程, 就会造成时间和金钱的大量浪费.

为定量研究有机污染物在土壤水环境中的降解过程, 近年来一个经常应用的数学模型称作“两相模型”^[3], 该模型假设有机污染物在系统中被分配在两相中: 水相和固相, 其中水相的污染物能够被微生物直接降解, 降解速率用一阶动力学方程来描述; 固相的污染物不能被微生物直接降解, 但固相污染物可以释放到水相中, 其释放速率也可用一阶动力学方程来描述. 该模型的最大特点是简单、使用方便. 但是, 它将实际降解过程过于简化, 使得模型参数物理意义

• 国家自然科学基金(59909003)和高等学校博士学科点专项科研基金(97029401)资助项目.
收稿日期: 1999-12-08; 收到修改稿日期: 2000-03-28. 刘凌, 女, 1964年生, 博士, 副教授.