

氯化物水型盐碱池塘的限制性营养盐研究*

文良印 董双林 张兆琪 申屠青春 李德尚
(青岛海洋大学国家教委水产养殖开放研究实验室, 青岛 266003)

韩文良 任曰达
(山东省高青县水产研究所, 高青 256300)

摘要 研究了沿黄盐碱地池塘水($\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ 和 $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$)的主要营养盐(N、P)的限制作用和适宜施肥浓度。首次发现该类型池塘普遍表现为氮限制。塘水中无机氮浓度很低, 只有 $(23.56 \pm 12.53) \mu\text{g/L}$ ($M \pm SD$), 与无机磷的比值仅为 1.02 ± 0.85 ; 而总氮和总磷并不低, 分别为 $(3.35 \pm 1.08) \text{mg/L}$ 和 $(0.24 \pm 0.11) \text{mg/L}$; TN/TP为 14.94 ± 3.43 。适宜的施肥N:P(重量)为 $(10 \sim 15):1$ 。文中提出了1种氮限制指数: $\text{INL} = (\text{DOI}_{\text{N}1.0} - \text{DOI}_c) / (\text{DOI}_{\text{N}1.0\text{P}0.1} - \text{DOI}_c)$, 并拟合出INL与TN/TP的相关模型, INL可准确地表示氮限制程度。文章最后分析了氮限制的原因。

关键词 盐碱池塘, 氯化物水型, 营养盐, 施肥

在温度、光照等条件适宜时, 水体初级生产的速率及产量受水体中供应量相对较低的植物营养元素的限制^[1,2]。普遍认为, 磷是淡水水域中的主要(第一)限制性营养元素, 池塘中的磷通常是浮游植物生长的主要限制因子^[3]。我国淡水精养鱼池往往严重缺磷^[4]。70年代以来的大量研究资料认为, 海洋、河口趋向于氮限制^[2,5~7], 一般认为半咸水池塘中的N比淡水池塘中的更重要, 但此前尚无证据表明只施氮肥能提高浮游植物的生产力^[3]。氯化物水型($\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ 和 $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$)盐碱地池塘水具有较高的含盐量、碱度和pH值, 不同于一般淡水或海水, 其限制性营养盐和适宜施肥比例尚不清楚。本文研究了该类型池塘的营养盐含量、氮或磷对藻类初级生产力的限制性作用及其最适施用比例, 以为氯化物水型盐碱池塘的施肥实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验池塘

收稿日期: 1998-03-09

* 本研究由国家杰出青年科学基金项目(39725023)和国家“九五攻关”项目(96080401)资助

实验池塘均分布于沿黄地区的山东省高青县赵店镇。本实验选择了3口从未养过鱼的空白池塘(0[#]、1[#]、35[#]塘)和10口养鱼塘(2[#]、4[#]、6[#]、14[#]、15[#]、19[#]、20[#]、21[#]、32[#]、33[#]塘)。其基本情况(表1)是: 0[#]塘和35[#]塘于1992年开挖, 深20~70 cm; 19[#]、20[#]、32[#]、33[#]塘都于1991年开挖; 21[#]塘于当年(1997)年开挖, 当年养鱼; 其余塘都于1994年开挖。4月25日将1[#]塘的自然渗出水抽干, 灌入约1.7 m深的黄河水, 之后不再灌水。为缓解盐碱的不良影响, 养鱼塘在放养前将原水部分或全部抽出, 灌入黄河水, 养殖期内只适当补加黄河水, 水深1.5~2.5 m, 池塘面积为1 000~7 350 m²不等。主要使用颗粒饲料和粪肥进行养鱼, 产量为4 000~9 000 kg/hm²。

1.2 实验方法

参照生氧量生物测试法^[8]。所有试验的每个处理都设3个重复。限制性营养盐试验分4个组, 分别为: ①对照组; ②加含P 0.1 mg/L的 NaH_2PO_4 ; ③加含N 1.0 mg/L的 NaNO_3 ; ④加含P 1.0 mg/L的 NaH_2PO_4 和含N 1.0 mg/L的 NaNO_3 。

最适施肥浓度试验分 2 个系列(加 P 和不加 P), 每个系列设 5 个处理(详见表 4)。用 500 mL 白磨口瓶加入池塘水和肥料溶液后悬挂于池塘 1/2 透明度

处培养 35 h。池水为上、中和下层混合水, 挂瓶时间为 6:30。培养结束时, 立即按碘量法整瓶固定, 测定溶氧。

表 1 试验鱼塘水质的基本情况

Table 1 The primary information of experimental ponds							mean $\pm$ SD
塘号 No. of pond	含盐量 salinity	pH ^{**}	Cl ⁻ / (mmol·L ⁻¹)	总碱度/(mmol·L ⁻¹) alkalinity	SO ₄ ²⁻ / (mmol·L ⁻¹)	总硬度/(mmol·L ⁻¹) hardness	水型 water type
0 [#] , 35 [#] 平均值 $\pm$ SD mean $\pm$ SD	10.31 $\pm$ 3.37	9.21	96.13 $\pm$ 28.06	1.98 $\pm$ 0.61	37.49 $\pm$ 11.88	39.70 $\pm$ 12.31	Cl _{II} ^{Na} or Cl _{II} ^{Na}
1 [#]	1.73	8.83	12.69	4.38	4.46	3.97	Cl _{II} ^{Na}
21 [#] 平均值 $\pm$ SD mean $\pm$ SD	2.48 $\pm$ 0.78	8.23	18.82 $\pm$ 5.82	5.93 $\pm$ 1.52	7.27 $\pm$ 2.40	8.76 $\pm$ 2.73	Cl _{II} ^{Na}
2 [#] , 4 [#] , 6 [#] , 14 [#] , 15 [#] , 19 [#] , 20 [#] , 32 [#] , 33 [#] 平均值 $\pm$ SD mean $\pm$ SD	3.65 $\pm$ 1.62	8.41	28.84 $\pm$ 14.53	6.30 $\pm$ 1.32	8.18 $\pm$ 5.72	11.57 $\pm$ 6.01	Cl _{II} ^{Na}

** pH 平均值通过 [H⁺] 进行计算。Mean pH values were calculated from [H⁺].

试验时间为 6~9 月。每次试验的同时还取塘水测定 pH(玻璃电极)、总碱度(HCl 滴定)、SO₄²⁻ 含量(EDTA 滴定)和其它主要离子含量(以便计算含盐量); NO₃⁻ (锌镉还原法)、NO₂⁻ (盐酸奈乙二胺法)、NH₄⁺ (次溴酸钠氧化法)、PO₄³⁻ (钼蓝法, 水样经 3 000 r/min 离心 15 min)、总磷 TP(过硫酸钾消解法)和总氮 TN(凯氏定氮法)。

2 结果

2.1 池塘水的营养盐含量

从测定结果(表 2)可见, 所有池塘的铵氮和硝酸氮浓度都很低; 养鱼塘的无机氮明显高于未养鱼的空塘; 新开挖鱼塘的磷酸盐、总氮和总磷含量最低, 多年养鱼塘的较高, 而已开挖几年但没养鱼的空塘的并不低; 所有塘的无机氮与溶解无机磷之比都很低。

2.2 氮、磷对氯化物水型盐碱池塘浮游植物的限制作用

从测定结果(表 3)可见, 对非养鱼塘、多年养鱼塘和当年开挖的新养鱼塘的 23 个塘次测验结果都表现为显著($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$) 的氮限制, 氮响应值 NR(N-response^[9]) 为 1.15~4.28; 有 3 个塘同时表现为极显著($P < 0.01$) 的磷限制, 磷响应值 PR(P-response^[11]) 为 0.81~1.78, 但只有 0[#] 塘在

7 月底(由于干旱, 水深只有 20 cm)的 1 次试验表现出比氮限制更强烈的磷限制($PR > NR$); 有 13 个塘次表现出显著($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$) 的氮磷协同响应 SR(Synergism response^[9])。

为了表达氮的相对限制程度(相对于磷), 设计了如下的氮限制指数(INL, Index of N limitation)

$$INL = (DOI_{N1.0} - DOI_c) / (DOI_{N1.0P0.1} - DOI_c)$$

式中, $DOI_{N1.0}$ = $N_{1.0}$ 处理组的溶氧净增量(mg/L); $DOI_{N1.0P0.1}$ = $N_{1.0P0.1}$ 处理组的溶氧净增量(mg/L); DOI_c = 对照组的溶氧净增量(mg/L)。

本试验的 INL 值见表 3, 将它与塘水的 TN/TP 值进行数学分析, 拟合出如下模型:

$$INL = 1 - 0.000\ 569 \times (TN/TP)^{3.145}, \\ R^2 = 0.75, F = 63.07, n = 23, P < 0.01.$$

将对照组的溶氧净增量(DOI_c , mg/L)分别与无机氮(IN, $\mu\text{g/L}$)、总氮(TN, mg/L)求回归, 得:

$$DOI_c = 0.34IN + 6.31, r = 0.471, n = 23, \\ F = 6.00, P < 0.05;$$

$$DOI_c = 4.50TN - 0.67, r = 0.529, n = 23, \\ F = 8.16, P < 0.01.$$

以上 3 个模型表明, 氯化物水型盐碱池塘的初级生产力与水中的无机氮和总氮有一定的正相关性, 氮限制的程度随 TN/TP 值的增大而减小。

表 2 池塘水的营养盐含量

Table 2 The content of nutrient elements in pond water

塘号及主养鱼 pond No. and fish	日期 date	$\text{NO}_3^- - \text{N}/$ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{NO}_2^- - \text{N}/$ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+ - \text{N}/$ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{IN}/$ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{IP}/$ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	IN/I	$\text{TP}/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{TN}/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TN/TP
0 [#] 未养鱼 without fish	6/17	9.26	0.56	14.89	24.71	8.25	3.00	0.057	1.32	22.98
	7/3	1.12	0.00	4.65	5.77	21.56	0.27	0.203	2.85	14.00
	7/9	0.00	2.31	8.36	10.67	42.71	0.25	0.245	3.71	15.12
	7/22	2.55	0.00	4.36	6.91	30.51	0.23	0.285	4.86	17.03
	7/26	13.33	1.98	23.64	38.95	18.31	2.13	0.286	5.46	19.07
35 [#] , 未养鱼 without fish	6/10	6.10	0.79	12.91	19.80	15.79	1.25	0.129	2.67	20.64
1 [#] , 未养鱼 without fish	6/10	7.94	1.06	6.18	15.18	27.97	0.54	0.246	3.65	14.78
21 [#] , 草鱼 grass carp	7/15	0.00	0.66	14.55	15.21	14.24	1.07	0.162	2.01	12.37
	8/15	3.97	0.13	22.18	26.28	7.12	3.69	0.099	1.74	17.62
2 [#] , 鲢 silver carp	7/19	1.84	2.44	17.89	22.17	22.12	1.00	0.178	2.81	15.77
4 [#] , 草鱼 grass carp	7/15	0.00	0.00	16.55	16.55	20.34	0.81	0.162	2.32	14.28
6 [#] , 草鱼 grass carp	7/19	8.51	1.59	16.36	26.46	46.32	0.57	0.329	4.15	12.62
	8/11	6.58	1.03	10.25	17.86	18.39	0.97	0.212	2.89	13.62
	8/22	10.78	1.19	5.09	17.06	19.32	0.88	0.234	3.08	13.18
14 [#] , 草鱼种 grass carp fingerlings	7/19	3.12	1.85	35.23	40.20	47.32	0.85	0.381	4.96	13.01
15 [#] , 鲢 silver carp	7/15	0.00	2.78	18.00	20.78	34.58	0.60	0.283	4.02	14.23
19 [#] , 罗非鱼 tilapia	7/15	0.00	1.32	33.64	34.96	40.68	0.86	0.228	3.41	14.99
	9/3	7.98	0.56	20.15	28.69	32.16	0.89	0.301	3.49	11.61
20 [#] , 白鲢和罗非鱼 spadefish and tilapia	7/15	0.00	0.00	21.09	21.09	36.61	0.58	0.241	3.15	13.06
32 [#] , 鲢鱼种 silver carp fingerlings	7/19	1.42	2.11	32.56	36.09	49.98	0.72	0.369	5.21	14.13
	8/29	7.37	1.19	14.55	23.11	17.29	1.34	0.190	3.36	17.68
33 [#] , 草鱼种 grass carp fingerlings	7/19	6.81	2.38	52.13	61.32	203.56*	0.30	0.579*	3.28	5.67
	8/26	3.26	0.21	8.65	12.12	16.56	0.73	0.169	2.72	16.13
总平均 mean $\pm$ SD		4.43 $\pm$ 4.03	1.14 $\pm$ 0.90	17.99 $\pm$ 11.59	23.56 $\pm$ 12.53	34.42 $\pm$ 38.96	1.02 $\pm$ 0.85	0.242 $\pm$ 0.11	3.35 $\pm$ 1.08	14.94 $\pm$ 3.43

注:IN 表示无机氮 inorganic N; IP 表示溶解无机磷 inorganic P; * 施入大量鸡粪所致 caused by large amount of added chicken dung.

2.3 最适施肥浓度试验

从表 4 可见, 根据经济适用的原则^[8], 不用磷肥时, 适宜的氮肥使用浓度为每次含 N 0.2~1.0 mg/L; 同时使用磷肥(含 P 0.1 mg/L)时, 适宜的 N:P 为(10~15):1。将不同氮添加水平(N)与对应的溶氧增量(DOI)进行数学分析, 得到模型如表 5。

3 讨论

实验结果说明, 氯化物水型盐碱池塘普遍表现为氮限制。有少数池塘同时表现为氮限制和磷限制, 其原因主要是由于实验水样中为多种藻类的混合体, 不同的藻类对 N:P 的要求不一致所致^[7,10]。

Redfield^[11]报道, 总体来看, 海洋中可利用 N 和

P 的原子比与浮游植物细胞内的 N:P 是相同的, 为 15:1(重量比为 6.56:1), 浮游植物生长对它们的消耗比例也相似。Rhee 和 Gotham^[10]对 7 种淡水藻类试验发现, 最适的平均原子比为 IN:IP 为 17:1(重量比为 7.44:1)。吴新儒认为, 在鱼类生长旺季的鱼池中, 有效氮浓度保持在 0.3 mg/L 以上, 有效磷浓度保持在 40~50 $\mu\text{g}/\text{L}$ 以上, 总磷大于 100 $\mu\text{g}/\text{L}$, 控制水中无机 N:P=6~7 为宜^[1]。我国高产淡水鱼塘的无机 N:P 为(300~500):1^[12], 严重缺磷。由表 2 可见, 本实验的氯化物水型盐碱池塘的无机磷和总磷并不低, 但 IN:IP 很低, 这显然是造成氮限制的主要原因。

表 3 N、P 对浮游植物净产氧量的限制性作用

Table 3 The limiting effect of N or P on DO increment of phytoplankton

塘号及主养鱼 pond No. and fish	日期 date	组别 group							
		对照 control	P _{0.1}		N _{1.0}		N _{1.0} P _{0.1}		INL
		DOI*	DOI	PR*	DOI	NR*	DOI	SR*	
0#, 未养鱼 without fish	6/17	5.98±0.12	6.08±0.29	1.02	7.87±0.21	1.32***	18.28±0.40	2.32***	0.15
	7/3	5.76±0.29	5.86±0.35	1.02	15.16±0.50	2.63***	15.07±0.50	0.99	1.01
	7/9	7.62±0.05	6.16±0.16	0.81	15.81±0.23	2.07***	18.61±0.20	1.18***	0.75
	7/22	13.63±0.20	18.31±0.65	1.34***	21.33±0.24	1.56***	26.93±1.36	1.26***	0.58
	7.26	13.22±0.10	23.47±0.41	1.78***	15.82±1.12	1.20**	26.59±1.36	1.13**	0.19
35, 未养鱼 without fish	6/10	5.89±0.23	5.76±0.40	0.96	7.23±0.11	1.23***	19.97±0.70	2.76***	0.10
1#, 未养鱼 without fish	5/10	8.96±0.29	9.18±0.45	1.02	22.59±0.20	2.52***	26.62±0.10	1.18***	0.77
21#, 草鱼 grass carp	7/15	12.84±0.10	11.04±0.14	0.86	26.18±0.78	2.04***	26.16±0.14	1.00	1.00
	8/15	4.42±0.34	4.06±0.17	0.92	10.68±0.27	2.42***	24.91±0.54	2.33***	0.31
2#, 鲢 silver carp	7/19	8.06±0.48	7.49±0.48	0.93	18.38±0.68	2.28***	21.94±0.27	1.19***	0.74
4#, 草鱼 grass carp	7/15	17.33±0.40	15.89±0.40	0.92	27.55±0.40	1.59***	28.90±1.90	1.05	0.88
	7/19	24.82±0.61	24.91±0.75	1.00	33.46±1.43	1.35***	33.89±0.41	1.01	0.95
6#, 草鱼 grass carp	8/11	18.57±0.37	18.33±0.65	0.99	31.37±1.94	1.69***	31.96±1.35	1.02	0.96
	8/22	19.13±0.92	19.49±0.81	1.02	33.26±0.20	1.74***	34.61±0.61	1.04	0.91
14#, 草鱼种 grass carp fingerlings	7/19	42.02±0.64	43.06±0.68	1.02	48.23±0.81	1.15***	48.19±0.95	1.00	1.01
15#, 鲢鱼 silver carp	7/15	19.18±0.03	20.04±0.78	1.04	27.72±0.71	1.45***	29.83±0.85	1.08**	0.80
19#, 罗非鱼 tilapia	7/15	18.67±0.54	19.27±0.24	1.03	24.86±0.27	1.33***	28.87±1.66	1.16***	0.61
	9/3	14.43±0.15	14.75±0.44	1.02	27.47±0.60	1.90***	28.65±1.12	1.04	0.92
20#, 白鲢和罗非鱼 spadefish and tilapia	7/15	21.26±1.15	20.74±0.81	0.98	26.83±0.54	1.26***	27.48±0.17	1.02	0.90
32#, 鲢鱼种 silver carp fingerlings	7/19	24.24±0.20	30.02±0.85	1.24***	34.22±1.22	1.41***	38.35±1.29	1.12**	0.71
	8/29	2.15±0.45	2.98±1.49	1.39	5.06±0.98	2.35***	20.54±3.19	4.06***	0.16
33#, 草鱼种 grass carp fingerlings	7/19	19.80±0.17	19.39±0.20	0.98	30.82±0.54	1.56***	30.84±1.26	1.00	1.00
	8/26	3.56±0.59	3.77±0.43	1.06	15.24±0.55	4.28***	24.05±0.69	1.58***	0.57

* DOI = 溶氧净增量/(mg·L⁻¹), increment of DO; PR = DOI_{P0.1}/DOI_{control}; NR = DOI_{N0.1}/DOI_{control}; SR = DOI_{N1.0P0.1}/Max{DOI_{N1.0}, DOI_{P0.1}}; INL = (DOI_{N1.0} - DOI_{control})/(DOI_{N1.0P0.1} - DOI_{control}).

** 表示两者差异显著(P<0.05) significant; *** 表示两者差异极显著(P<0.01) extremely significant.

表 4 最适施肥浓度试验结果

Table 4 The results of experiment about optimum N and P concentrations for fertilization

塘号 pond No.	日期 date	不同 N 添加量处理的溶氧增量 ± SD/(mg·L ⁻¹) DO increment at various added N levels						最适浓度/(mg·L ⁻¹) optimum concentration	
		control	N _{0.2} group	N _{0.5} group	N _{1.0} group	N _{1.5} group	N _{2.5} group	N	P
1#	6/10~11	8.96±0.29	14.08±0.12	18.67±0.19	22.60±0.24	22.00±0.18		1.0	0
		9.19±0.46		20.90±0.46	26.64±0.18	31.56±0.34	30.47±0.52	1.5	0.1
35#	6/10~11	5.88±0.23	7.39±0.17	7.52±0.24	7.23±0.12	7.17±0.14		0.2	0
		5.75±0.40		15.67±1.25	19.97±0.75	20.64±1.37	21.12±0.90	1.0	0.1
0#	6/17~18	5.99±0.11	8.05±0.14	8.19±0.12	7.88±0.21	8.32±0.19		0.2	0
		6.08±0.29		15.49±0.23	18.29±0.40	19.09±0.29	19.39±0.23	1.0	0.1
	7/3~4	8.01±0.22	9.09±0.48	11.89±0.77	15.16±0.50	16.49±0.15		1.0	0
		6.89±0.32		11.36±0.40	14.97±0.57	17.67±0.74	19.67±0.34	1.5	0.1
	7/9~10	7.58±0.08	11.00±0.37	13.01±0.30	15.81±0.16	16.56±0.27		1.0	0
		6.14±0.12		13.54±0.33	18.64±0.16	19.83±0.41	21.70±0.18	1.0	0.1

表 5 溶氧增加量模型

Table 5 The mathematical model of DO increment

塘号 pond No.	日期 date	条件 condition	数学模型 mathematical model
0#	3/7~4/7	不加 P no P	$DOI = 20.82[1 - e^{-0.77(0.60 + N)}]$ $R^2 = 0.990, F = 100.0,$ $n = 5, P < 0.01$
		不加 P no P	$DOI = 17.19[1 - e^{-1.82(0.33 + N)}]$ $R^2 = 0.994, F = 161.1,$ $n = 5, P < 0.01$
	17/6~18/6	加 P with P	$DOI = 19.43[1 - e^{-2.45(0.15 + N)}]$ $R^2 = 0.999, F = 252.0,$ $n = 5, P < 0.01$
		加 P with P	$DOI = 22.06[1 - e^{-0.77(0.47 + N)}]$ $R^2 = 0.997, F = 336.9,$ $n = 5, P < 0.01$
	4/7~10/7	加 P with P	$DOI = 22.30[1 - e^{-1.33(0.24 + N)}]$ $R^2 = 0.996, F = 243.25,$ $n = 5, P < 0.01$
1#		不加 P no P	$DOI = 22.95[1 - e^{-2.46(0.20 + N)}]$ $R^2 = 0.991, F = 110.2,$ $n = 5, P < 0.01$
		加 P with P	$DOI = 31.98[1 - e^{-1.55(0.21 + N)}]$ $R^2 = 0.985, F = 67.3,$ $n = 5, P < 0.01$
35#		加 P with P	$DOI = 21.35[1 - e^{-2.13(0.15 + N)}]$ $R^2 = 0.998, F = 486.1,$ $n = 5, P < 0.01$

盐度较高的水体,盐效应的作用使得难溶磷酸化合物的溶解度加大。氯化物水型盐碱地池水的硫酸盐浓度很高(表 1),鱼塘沉积物甚至底层水中通常都具备还原生成硫化物(如 FeS 等)的条件^[1],因而 Fe(OH)₃ 对 PO₄³⁻ 的吸附量以及以 FePO₄ 的形式对 PO₄³⁻ 的沉淀量就大大减少。另外,较高的 pH 导致较高的 CO₃²⁻,水中 Ca²⁺ 活度较低,也减小了磷的损失。因此,氯化物水型盐碱池水中的无机磷浓度能维持 1 个相对较高的水平。

Sakamoto^[13]对日本的湖泊进行研究后认为,TN/TP 在 10~17(重量比)内,叶绿素生产量与 TN 和 TP 的关系几乎是平衡的;当 TN/TP 小于 10 时,叶绿素生产量只与 TN 相关;当 TN/TP 大于 17 时,只与 TP 相关。由此看来,本试验池塘的 TN/TP (14.94 ± 3.34) 值较合适(较多的池塘表现为氮磷协同响应也说明如此),而且总氮也不低,为 (3.35 ± 1.08) mg/L。程维新^[14]对碳酸盐水型盐碱地池塘的研究也发现总氮较高而无机氮却很低,认为是由于塘水氧化条件差影响了有机氮的分解与转化。底泥中的大量硫化物促进了脱氮细菌的作用也可能是原因之一。对半咸水池塘的研究发现,通过脱氮和氨挥发造成的氮损失占总损失的 55%^[15]。但对半

精养鱼塘研究发现,脱氮损失只占总损失的 1%^[16]。

一般情况下(如不存在磷抑制等时),INL 理论上的最大值为 1,最小值为 0。将计算公式中的 DOI_{N1.0} 替换为 DOI_{P0.1} 就成为磷限制指数。从拟合的 INL 与 TN/TP 的模型可以看出,它可很好的表示氮的相对限制程度。而 NR 在表示氮限制时,只考虑到氮本身,没有考虑与磷的相对性,如:21# 塘 8 月 15 日和 32# 塘 8 月 29 日的试验结果,其 NR 较高是由于对照组的溶氧增量较低所致,并不是氮的相对限制程度较高,因此,不同池塘的 NR 间难于比较。

致谢:试验得到张美昭、李吉方、赵文等同志的帮助,谨致谢意!

参 考 文 献

- 1 吴新儒,雷衍之,许昌兴.淡水养殖水化学.北京:农业出版社,1980.38~49
- 2 Hecky R E, Kilham P. Nutrient limitation of phytoplankton in fresh water and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol Oceanogr*, 1988, 33(4, part 2):296~822
- 3 Boyd C E. Practical aspects of chemistry in pond aquaculture. *The Progressive Fish-culturist*, 1997, 59:85~93
- 4 张扬宗,谭玉钧,欧阳海.主编:中国池塘养鱼学.北京:科学出版社,1989.59
- 5 雷衍之,于淑敏,徐捷.无锡河埭口高产鱼池水质研究. I 水化学和初级生产力. *水产学报*, 1983, 7(3):185~199
- 6 Ryther J H, Dunstan W M. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 1981, 171:1 008~1 013
- 7 Smith S V. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. *Limnol Oceanogr*, 1984, 29:1149~1160
- 8 李德尚,张美昭,赵曼华,等.指导大水域施肥的生氧生物测验法的研究. *海洋与湖沼*, 1988, 19(6):539~546
- 9 Elser J J, Marzolf E R, Goldman C R. Phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton growth in the freshwaters of North America: a review and critique of experimental enrichments. *Can J Fish Aquat Sci*, 1988, 47:1 468~1 477
- 10 Rhee G-H, Gotham I J. Optimum N:P ratios and coexistence of planktonic algae. *J Phycol*, 1980, 16:486~489
- 11 Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment. *Amer Sci*, 1958, 46:205~221
- 12 谭玉钧,徐尚达,主编.池塘高产养鱼新技术.上海:上海科学技术出版社,1990.59~69
- 13 Sakamoto M. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Arch Hydrobiol*, 1966, 62:1~28
- 14 程维新,胡文英,张兴权,等.洼地整治与环境生态.北京:科学出版社,1993

- 15 Daniel H V, Boyd C E. Chemical budgets for polyethylene - lined, brackishwater ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1989, 20(2):53~60
- 16 Acosta - Nassar M V, Morell J M, Corredor J E. The nitrogen budget of a tropical semi - intensive freshwater fish culture pond. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1994, 25(2):261~270

Studies on the nutrient (N, P) limitation of pond waters($\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ and $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$) in saline - alkaline land

Wen Liangyin Dong Shuanglin Zhang Zhaoqi Shentu Qingchun Li Deshang
(Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003)
Han Wenliang Ren Yueda
(Gaoqing Aquaculture Research Institute, Gaoqing 256300)

Abstract With the oxygen evolution bioassay method, the studies on nutrient (N, P) limitation and optimum N:P ratio for fertilization of 13 ponds ($\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ and $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$ in saline - alkaline land were conducted, and the concentrations of nutrients were measured at the same time. The phenomenon was discovered for the first time that this kind of ponds generally showed N limitation. The concentration of inorganic nitrogen (TN) in pond water was very low, only $(23.56 \pm 12.53) \mu\text{g/L}$ (mean $\pm$ SD), and the TN/TP was only 1.02 ± 0.85 . But the total nitrogen and total phosphorus were not low, which were $(3.35 \pm 1.08) \text{mg/L}$ and $(242.16 \pm 108.70) \mu\text{g/L}$, respectively. The TN/TP was 14.94 ± 3.43 . The optimum N:P (by weight) for fertilization was $(10 \sim 15):1$. A kind of index of N limitation, $\text{INL} = (\text{DOI}_{\text{N}1.0} - \text{DOI}_c) / (\text{DOI}_{\text{N}1.0\text{P}0.1} - \text{DOI}_c)$, which could well express the extent of N limitation, was suggested, and a model was developed to simulate the relationship between INL and TN/TP. At last, the reasons for N limitation were analyzed.

Key words saline - alkaline pond, $\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ and $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$ water, nutritive salts, fertilizing

2000 年《淡水渔业》征订启事

跨入新世纪, 迎来《淡水渔业》连续出版 30 年(1971 创刊), 为更好地满足广大读者的需求, 促进我国淡水渔业的发展, 2000 年本刊将有三变三不变:

三变

内容变: 以刊登淡水渔业实用生产技术为主, 适当报道具有实用价值的科研新成果, 更加贴近渔业生产, 贴近渔民。

版式变: 栏目编排更加灵活实用, 根据渔业生产实践, 设置多种栏目。如“池塘养殖”、“大水面增养殖(包括‘三网’养殖)”、“水产病害防治”、“饲料和肥料”、“鱼类育种”、“渔业动态信息”等。

外观变: 设计更加新颖, 纸张、印刷、装订质量将有较大提高。

三不变

刊期不变: 2000 年仍为月刊, 每月 5 日出版, 信息丰富快捷。

定价不变: 为照顾广大新老读者, 本刊每期定价仍为 3 元, 全年 12 期 36 元。

订阅方式不变: 为方便广大读者, 仍采用两种订阅方式: ①可在当地邮局订阅, 邮发代号为 38 - 32, 国内统一刊号为 CN42 - 1138/S。②可直接汇款到杂志社订阅(随时可订阅全年杂志)。联系地址: 湖北省荆州市江汉北路, 邮政编码: 434000, 电话: (0716)8212277 - 3017, 传真: (0716)8228212。