

文章编号:1005-8737(2000)02-0051-05

氯化物水型盐碱池塘缓冲能力研究

文良印¹,董双林¹,张兆琪¹,李德尚¹,韩文良²,任曰达²

(1. 教育部开放实验室, 青岛海洋大学, 山东 青岛 266003; 2. 山东省高青县水产研究所, 山东 高青 256300)

摘 要:用生氧量生物测验法对4口缓冲物质含量不同的氯化物水型($\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$)盐碱池塘水的缓冲能力进行研究。结果表明,浮游植物的光合作用(净产氧量)与池水pH升高密切相关。这类盐碱池塘pH较高的原因是总 CO_2 或 Ca^{2+} 含量相对较低所致,向池水中添加相对缺乏的缓冲物质可大幅度地减小光合作用引起的pH的上升。当池水中总 CO_2 含量相对不足时,通入 CO_2 比加入含 HCO_3^- 的缓冲溶液能更有效地提高其缓冲能力。文中拟合了不同缓冲剂含量的池塘水中由于光合作用所引起的 OH^- 增量与总 CO_2 和 Ca^{2+} 浓度之间的回归模型。还探讨了池塘水的pH与总 CO_2 、 Ca^{2+} 浓度和浮游植物密度的相互关系,并拟合出了它们之间的回归模型。

关键词:盐碱池塘;氯化物水型;缓冲能力;pH

中图分类号:S912

文献标识码:A

我国有867万 hm^2 盐碱荒地^[1],其地下潜水按阿列金的分类^[2]可分为碳酸盐水型、硫酸盐水型和氯化物水型。黄河下游和沿海一带的低洼盐碱地大多为氯化物水型,且主要为 $\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ 和 $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$ 水。其特点是盐碱度较高、pH较高,不适宜发展水产养殖业。一般认为, CO_3^{2-} 的大量存在会降低二价阳离子与一价阳离子的比例。碱度对鱼类的毒害主要是 CO_3^{2-} 引起的^[3],而在总 CO_2 量一定时, CO_3^{2-} 浓度的高低取决于水的pH值。因此,降低pH值就成为盐碱地池塘养殖水质调节的重要技术措施。

硫酸铵、明矾 $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}]$ 和农用石膏 $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ 可用于调节池塘水的pH^[4]。对于高碱度低硬度的塘水,用硫酸铵、硫酸铝、碳酸钙进行试验,发现只有硫酸钙有明显的降pH效果^[5]。Pote等^[6]同样对高碱度低硬度的塘水,用硫酸钙、氯化钙、碳酸钙、醋酸、玉米粉(ground corn)进行研

究,却发现只有玉米粉对降低pH有显著效果。

与上述试验对象相反, $\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ 、 $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$ 水型盐碱池塘的总硬度一般都大于总碱度。本研究以该类型池塘为试验对象,探讨通过提高池水 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 浓度等措施提高其pH缓冲能力的效果,以为盐碱地池塘养殖的水质调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 池塘基本情况

所选试验塘位于山东省高青县赵店镇,基本情况见表1。0号塘1992年开挖,自然渗出水,深约60cm,一直没养鱼,含盐量较高,总硬度远大于总 CO_2 浓度(或总碱度),钙含量高于总 CO_2 浓度;6号塘1994年开挖,主要养殖草鱼;33号和19号塘1991年开挖,前者主要养殖草鱼种,后者主要养殖罗非鱼;后3口塘水深1.2~1.6m,钙含量都小于总 CO_2 浓度(或总碱度),6号和33号塘总硬度大于总 CO_2 浓度,19号的总硬度小于 CO_2 浓度。

收稿日期:1998-05-11

基金项目:国家杰出青年科学基金资助项目(39725023);国家“九五”攻关资助项目(96080401)

作者简介:文良印(1966-),男,农学博士,从事水产养殖生态学

研究。

表 1 试验鱼塘的基本情况

Table 1 Primary information of experiment ponds

池塘编号 Pond No.	试验日期 Date of trial	水温/℃ Water temperature	面积/m ² Area of pond	盐度 Salinity	pH	总硬度/(mmol·L ⁻¹) Total hardness	Ca ²⁺ / (mmol·L ⁻¹)	总 CO ₂ / (mmol·L ⁻¹) Total CO ₂	溶氧/ (mg·L ⁻¹) DO	水型 Water type
0	22/7	28.5~34.0	2 333	9.55	9.36	34.22	3.82	2.59	5.23	Cl _{II} ^{Na}
6	11/8	28.5~34.0	3 467	3.50	9.03	8.06	1.27	5.67	7.43	Cl _{II} ^{Na}
19	3/9	24.0~28.0	2 333	2.01	8.92	4.63	1.00	6.7	7.73	Cl _{II} ^{Na}
33	26/9	26.5~30.0	7 350	2.03	8.31	6.22	1.90	5.48	3.80	Cl _{II} ^{Na}

注:总 CO₂ 通过总碱度和 pH 计算而来,下同。Total CO₂ was calculated based on total alkalinity and pH, the same below.

1.2 试验方法

试验参照生氧量生物测验法^[7],用 500 ml 无色磨口瓶加入池塘水和缓冲剂后悬挂于池塘 1/2 透明度处培养 48 h。池水为上、中和下层混合水,挂瓶起始时间为 16:30。

每个池塘试验分 14 个试验组(0 号塘为 15 个,分为 12 或 13 个处理,2 个对照),每个组 6 个重复(其中 3 个用于测溶氧,3 个用于测 pH 和碱度等)。除第 14 个试验组外,每瓶加入 1.0 mmol/L 的分析纯 NaNO₃,以提高产氧量。第 1 至第 12 组分别或同时加入作为缓冲剂的分析纯 CaCl₂ 和 NaHCO₃(表 2)。第 13 和第 14 组不加 CaCl₂ 和 NaHCO₃。第 15 组用嘴吹入 CO₂,使 pH 降至 7.0(吹入 CO₂ 后,DO 为 5.71 mg/L,总 CO₂ 为 3.85 mmol/L, Ca²⁺ 为 3.88 mmol/L)。

另取池塘水样测定初始 pH(玻璃电极法)、溶氧(碘量法)、总碱度(HCl 滴定)、Ca²⁺ 含量(EDTA 滴定)以及其它主要离子的含量(以便计算其盐度)。每一处理均另设容器,以测定加缓冲剂后 pH 的即时变化(混匀后立即测定)。培养结束时测定各瓶的溶氧或 pH、总碱度、Ca²⁺ 含量(19 号塘)。

另外,在 6~8 月间对 20 口盐碱地池塘(Cl_{II}^{Na} 或 Cl_{III}^{Na})的理化指标进行了多次测定。

2 结果

2.1 缓冲剂引起池塘水 pH 的即时变化

从表 2 可以看出,加缓冲剂后原本 pH 较高的水 pH 下降幅度较大,而 33 号塘 pH 为 8.31,其下降幅度很小,最多仅降 0.08。在分别加等量的 Ca²⁺ 和 HCO₃⁻ 的试验中(如第 2 和第 9 试验,第 4 和第 10 试验),33 号塘加 Ca²⁺ 降 pH 效果较好,而其余 3 口塘加 HCO₃⁻ 降 pH 的效果更好一些。加 2 种缓冲剂在 4 口塘中都比单加 1 种缓冲剂表现出更好的降

pH 效果。0 号塘加 Ca²⁺ 降 pH 的效果很小,仅降 0.02。

表 2 加缓冲剂引起池塘水样 pH 的即时变化

Table 2 The sudden change of pH in pond water caused by adding buffers

试验编号 No. of trial	处理* Treatment	池塘号 No. of pond			
		6	33	19	0
	试验前 pH pH before experiment	9.33	8.31	8.92	9.36
1	Ca ²⁺ (0.5)	9.01	8.29	8.89	9.36
2	Ca ²⁺ (1.0)	8.99	8.28	8.87	9.35
3	Ca ²⁺ (1.5)	8.97	8.27	8.85	9.35
4	Ca ²⁺ (2.0)	8.95	8.26	8.83	9.34
5	Ca ²⁺ (0.5) + HCO ₃ ⁻ (1.0)	8.94	8.27	8.82	9.12
6	Ca ²⁺ (1.0) + HCO ₃ ⁻ (2.0)	8.86	8.25	8.74	8.94
7	Ca ²⁺ (1.5) + HCO ₃ ⁻ (3.0)	8.80	8.24	8.67	8.81
8	Ca ²⁺ (2.0) + HCO ₃ ⁻ (4.0)	8.74	8.23	8.62	8.73
9	HCO ₃ ⁻ (1.0)	8.95	8.29	8.85	9.13
10	HCO ₃ ⁻ (2.0)	8.88	8.28	8.80	8.95
11	HCO ₃ ⁻ (3.0)	8.84	8.27	8.75	8.83
12	HCO ₃ ⁻ (4.0)	8.80	8.27	8.72	8.75

* 缓冲剂浓度单位均为 mmol/L。Concentration unit of buffers is mmol/L.

2.2 光合作用与池塘水体 pH 的关系

为提高水体的光合作用水平,处理中加入了限制性营养元素 N,结果表明(表 3),4 口试验塘未作任何处理的水样的净产氧量都极显著地($P < 0.01$)小于只加氮肥的水样,并且其单位净产量所引起的 OH⁻ 浓度的增加量 0、6、19、33 号塘分别为 8.00×10^{-6} 、 3.52×10^{-7} 、 5.10×10^{-7} 、 1.11×10^{-7} [OH⁻] mol/(DO)mg,也都小于只加氮肥的水样(0、6、19、33 号塘分别为 1.06×10^{-5} 、 7.30×10^{-7} 、 6.88×10^{-7} 、 3.06×10^{-7} [OH⁻] mol/(DO)mg)。这说明光合作用可引起池水 OH⁻ 浓度(或 pH)的明显升高,其升高的幅度与溶氧增量呈非直线关系。

表 3 挂瓶培养后水样的有关化学指标

Table 4 Some chemical items of water after experiment

X ± SD

处理 Treatement	6 号塘 Pond 6				19 号塘 Pond 19				
	pH	[OH ⁻] 增量/ (mg·L ⁻¹) Increment of[OH ⁻]	溶氧增量/ (mg·L ⁻¹) DO increment	总碱度/ (mmol·L ⁻¹) Alkalinity	pH	[OH ⁻] 增量/ (mmol·L ⁻¹) Increment of[OH ⁻]	溶氧增量/ (mol·L ⁻¹) DO increment	总碱度/ (mmol·L ⁻¹) Alkalinity	Ca ²⁺ / (mmol·L ⁻¹)
Ca _{0.5} ²⁺	9.41	1.51 ± 0.08	32.14 ± 1.24	4.00 ± 0.14	9.17	6.29 ± 0.19	27.53 ± 0.32	4.85 ± 0.11	0.80
Ca _{1.0} ²⁺	9.32	1.00 ± 0.07	32.78 ± 1.10	3.75 ± 0.19	9.00	1.62 ± 0.46	27.87 ± 0.82	4.74 ± 0.18	1.02
Ca _{1.5} ²⁺	9.24	0.68 ± 0.08	31.24 ± 0.81	3.24 ± 0.14	8.86	-1.15 ± 0.00	27.90 ± 0.31	4.62 ± 0.08	1.23
Ca _{2.0} ²⁺	9.07	0.11 ± 0.06	31.30 ± 1.84	3.45 ± 0.06	8.73	-3.02 ± 0.12	28.80 ± 0.27	4.52 ± 0.21	1.47
Ca _{0.5} ²⁺ + HCO _{31.0}	9.38	1.35 ± 0.23	29.75 ± 0.98	4.38 ± 0.17	9.15	5.74 ± 0.33	27.26 ± 0.41	6.00 ± 0.27	0.77
Ca _{1.0} ²⁺ + HCO _{32.0}	9.22	0.58 ± 0.15	29.53 ± 1.91	4.80 ± 0.17	8.88	-0.89 ± 0.23	27.44 ± 0.54	6.44 ± 0.21	0.97
Ca _{1.5} ²⁺ + HCO _{33.0}	9.10	0.18 ± 0.04	32.57 ± 0.69	5.23 ± 0.06	8.66	-3.28 ± 0.11	27.18 ± 1.00	7.03 ± 0.25	1.13
Ca _{2.0} ²⁺ + HCO _{34.0}	8.84	-0.37 ± 0.05	30.73 ± 2.20	6.09 ± 0.33	8.40	-5.88 ± 0.12	28.35 ± 0.11	7.70 ± 0.14	1.30
HCO _{31.0}	9.50	2.09 ± 0.07	30.89 ± 2.04	4.72 ± 0.19	9.34	3.50 ± 1.01	27.29 ± 0.10	6.00 ± 0.16	0.54
HCO _{32.0}	9.43	1.64 ± 0.13	31.93 ± 1.50	5.66 ± 0.22	9.25	9.42 ± 0.41	27.45 ± 1.08	6.92 ± 0.15	0.51
HCO _{33.0}	9.31	0.96 ± 0.10	33.02 ± 0.74	6.67 ± 0.17	9.19	7.04 ± 0.18	28.21 ± 0.51	7.83 ± 0.16	0.48
HCO _{34.0}	9.26	0.76 ± 0.09	32.12 ± 2.26	7.50 ± 0.06	9.16	5.93 ± 0.26	28.11 ± 0.37	8.66 ± 0.10	0.46
N _{1.0}	9.53	2.29 ± 0.10	31.37 ± 1.94	4.13 ± 0.06	9.44	18.94 ± 0.36	27.47 ± 0.60	4.92 ± 0.09	0.57
Control	9.24	0.65 ± 0.02	18.57 ± 0.37	4.45 ± 0.13	9.20	7.36 ± 0.17	14.43 ± 0.15	5.72 ± 0.09	0.78
处理 Treatement	0 号塘 Pond 0				33 号塘 Pond 33				
	pH	[OH ⁻] 增量/ (mg·L ⁻¹) Increment of[OH ⁻]	溶氧增量/ (mg·L ⁻¹) DO increment	总碱度/ (mmol·L ⁻¹) Alkalinity	pH	[OH ⁻] 增量/ (mmol·L ⁻¹) Increment of[OH ⁻]	溶氧增量/ (mol·L ⁻¹) DO increment	总碱度/ (mmol·L ⁻¹) Alkalinity	Ca ²⁺ / (mmol·L ⁻¹)
Ca _{0.5} ²⁺	10.36	20.62 ± 0.75	21.35 ± 0.36	1.36 ± 0.06	8.75	3.58 ± 0.13	15.16 ± 0.42	4.52 ± 0.22	
Ca _{1.0} ²⁺	10.33	19.19 ± 0.14	21.06 ± 0.28	1.30 ± 0.13	8.62	2.14 ± 0.16	14.39 ± 0.39	4.21 ± 0.06	
Ca _{1.5} ²⁺	10.30	17.75 ± 1.31	20.98 ± 0.57	1.24 ± 0.02	8.53	1.34 ± 0.09	14.55 ± 0.53	4.23 ± 0.16	
Ca _{2.0} ²⁺	10.28	16.76 ± 0.93	21.36 ± 1.12	1.18 ± 0.09	8.42	0.61 ± 0.04	15.42 ± 1.06	4.11 ± 0.01	
Ca _{0.5} ²⁺ + HCO _{31.0}	10.04	8.78 ± 0.14	20.85 ± 0.57	1.95 ± 0.11	8.64	2.31 ± 0.20	15.05 ± 0.24	5.24 ± 0.16	
Ca _{1.0} ²⁺ + HCO _{32.0}	9.81	4.13 ± 0.08	20.56 ± 0.89	2.61 ± 0.02	8.41	0.53 ± 0.10	16.20 ± 0.47	5.98 ± 0.16	
Ca _{1.5} ²⁺ + HCO _{33.0}	9.48	0.75 ± 0.02	21.11 ± 0.26	3.40 ± 0.15	8.21	-0.39 ± 0.09	15.88 ± 0.64	6.88 ± 0.16	
Ca _{2.0} ²⁺ + HCO _{34.0}	8.92	-1.47 ± 0.01	20.65 ± 1.15	4.29 ± 0.13	8.02	-0.99 ± 0.04	14.28 ± 1.07	7.45 ± 0.14	
HCO _{31.0}	10.07	9.51 ± 0.08	21.42 ± 0.68	2.19 ± 0.09	8.76	3.67 ± 0.20	15.23 ± 0.95	5.49 ± 0.18	
HCO _{32.0}	9.87	5.06 ± 0.12	21.56 ± 0.57	2.89 ± 0.09	8.65	2.46 ± 0.16	14.13 ± 0.06	6.27 ± 0.20	
HCO _{33.0}	9.60	1.65 ± 0.08	20.50 ± 0.46	3.67 ± 0.04	8.55	1.52 ± 0.02	15.20 ± 0.02	7.35 ± 0.06	
HCO _{34.0}	9.23	-0.59 ± 0.06	21.07 ± 1.87	4.53 ± 0.04	8.52	1.30 ± 0.14	15.05 ± 1.01	8.03 ± 0.06	
N _{1.0}	10.40	22.54 ± 0.40	21.33 ± 0.04	1.40 ± 0.04	8.83	4.67 ± 0.24	15.24 ± 0.55	4.66 ± 0.09	
Control	10.12	10.89 ± 0.86	13.63 ± 0.20	1.66 ± 0.07	8.39	0.39 ± 0.03	3.56 ± 0.59	4.89 ± 0.04	
通入 CO ₂	9.41	2.54 ± 0.03	20.96 ± 0.04	2.17 ± 0.07					

注:Ca_{0.5}²⁺为加入 CaCl₂ 0.5 mmol/L;HCO_{31.0}为加入 NaHCO₃ 1.0 mmol/L;N_{1.0}为加入 NO₃⁻-N 1.0 mg/L;其余类推。Ca_{0.5}²⁺ means CaCl₂ 0.5 mmol/L added; HCO_{31.0} means NaHCO₃ 1.0 mmol/L added; N_{1.0} NO₃⁻-N means 1.0 mg/L added;the others on the analogy of this.

2.3 加入 CO₂、HCO₃⁻ 或 Ca²⁺ 对提高池塘水体缓冲能力的作用

从表 3 可见,各种处理水样培养 48 h 后,pH 发生了很大变化;所加试剂种类或剂量不同,OH⁻ 浓度的增量亦不同,但有一定变化规律可循。加氮肥的各处理组的溶解氧净增量在同一塘内很接近,相互间无显著差异($P > 0.05$),因此直接选择第 1 至第 13 处理组的数据,用 TSP 统计软件进行处理,得:

6 号塘: $\text{OHI} = -1.494 \times 10^{-5} + 2.185 \times 10^{-4}/([\text{Ca}^{2+}]^{0.767} \times \text{TC}^{0.886})$; $R^2 = 0.951$, $F = 58.26$,

$P < 0.01$ 。

33 号塘: $\text{OHI} = -3.388 \times 10^{-6} + 9.566 \times 10^{-5}/([\text{Ca}^{2+}]^{0.944} \times \text{TC}^{1.082})$; $R^2 = 0.989$, $F = 275.11$, $P < 0.01$ 。

19 号塘: $\text{OHI} = -8.853 \times 10^{-6} + 3.818 \times 10^{-4}/([\text{Ca}^{2+}]^{1.348} \times \text{TC}^{1.386})$; $R^2 = 0.992$, $F = 389.34$, $P < 0.01$ 。

0 号塘: $\text{OHI} = -5.375 \times 10^{-5} + 3.082 \times 10^{-3}/([\text{Ca}^{2+}]^{3.082} \times \text{TC}^{0.528})$;

$R^2 = 0.998$, $F = 1791.88$, $P < 0.01$ 。

式中,OHI 为挂瓶培养后水样的 OH⁻ 浓度和加

缓冲剂前的 OH^- 浓度之差 (mol/L); $[\text{Ca}^{2+}]$ 为 Ca^{2+} 浓度 (mmol/L , 试验前池塘水样的 Ca^{2+} 与加入的 Ca^{2+} 浓度之和); TC 为总 CO_2 (mmol/L , 试验前池塘水样的总 CO_2 与加入的 HCO_3^- 之和)。

由此可见, 试验前后 OH^- 浓度的增量与 Ca^{2+} 和总 CO_2 浓度都呈极显著负相关 ($P < 0.01$)。

从表3还可看出, 由于光合作用消耗 CO_2 以及 CaCO_3 沉淀(光合作用引起的沉淀和加入缓冲剂引起的沉淀), 试验结束时, 水样中的总碱度和钙离子浓度都有所下降。

2.4 pH与池塘水理化因子的相关关系

1997年6~8月, 作者对20个盐碱地池塘 ($\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ 或 $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$) 的 pH、总碱度、 Ca^{2+} 、塘水吸光度进行了测定, 共获得68组数据。

在假设 Ca^{2+} 和总 CO_2 对由于光合作用引起的 pH 值上升的缓冲能力都遵循指数饱和方程的基础上, 经统计分析, 得到如下的关系式:

$$\text{pH} = 6.898 + (1.474 \times A^{0.1094}) / (1 - e^{-1.478 \times [\text{Ca}^{2+}]}) (1 - e^{-0.510\text{TC}});$$

$$R^2 = 0.634, F = 27.32, P < 0.01 \quad (1)$$

式中: $[\text{Ca}^{2+}]$ 、TC 与前述定义相同; A 为池塘水吸光度 (400 nm, 3 cm 比色槽), 主要是藻类所致。该关系式表明, 低 Ca^{2+} 浓度、低总 CO_2 浓度和高浓度的藻类将导致高 pH 值。

3 讨论

3.1 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 在盐碱池塘缓冲系统中的作用

使溶液的 pH 改变 1 个单位所允许的酸(或碱)浓度的改变量即为该溶液对酸(或对碱)的缓冲能力(缓冲容量)。为了将池塘的光合作用与 pH 的升高直接联系起来, 本文用单位光合作用净产氧量所引起的 OH^- 浓度增量来表示缓冲能力(当产氧量在各处理间无显著性差异且十分接近时, 直接用总 OH^- 浓度增量来表示)。

池塘水中的缓冲体系主要有 2 个: CO_3^{2-} — HCO_3^- — CO_2 和 Ca^{2+} — CaCO_3 缓冲体系。光合作用消耗 CO_2 引发: $2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-}$ 。当水中含足够的 Ca^{2+} 时: $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{CaCO}_3 \downarrow$, 从而避免水中积累过量的 CO_3^{2-} 引起 pH 的过度升高。

氯化物水型 ($\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ 和 $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$) 盐碱地池塘水的总硬度较高 (> 总碱度), Mg^{2+} 的含量都大大高于

Ca^{2+} 的含量。水中 CaCO_3 和 MgCO_3 的溶度积分别为 2.8×10^{-9} 和 2.6×10^{-5} [8], 根据分步沉淀原理可知, 当 $[\text{Mg}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}] < 9.286$ 时(氯化物水型盐碱地池塘水远远小于这一比值), CaCO_3 先沉淀, 而不会发生 MgCO_3 沉淀。 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 也只有在 $\text{pH} > 10$ 的自然条件下才大量沉淀 [9], 而该类型池塘水的 $\text{pH} > 10$ 的情况并不常见。所以, 氯化物水型盐碱池塘缓冲系统中起主要作用的二价阳离子是 Ca^{2+} , 而不是 Mg^{2+} 。

3.2 缓冲剂作用效果及高 pH 的控制

不同缓冲剂对提高缓冲能力的效果不一样。本试验中通入 CO_2 比加 HCO_3^- 的效果好, 这是由于吹入二氧化碳使水中游离二氧化碳所占比例较大, 约 25% [2]。光合作用利用这部分碳源时, 并不象利用 HCO_3^- 那样同时产生 CO_3^{2-} , 并引发 CaCO_3 沉淀, 它只改变 CO_2 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 之间的化学平衡。

池塘中总 CO_2 和 Ca^{2+} 浓度的高低以及相互比例对加入的缓冲剂的效果有很大的影响。从表4的数据和拟合的数学模型可以看出, 池塘水的缓冲能力主要受总 CO_2 和 Ca^{2+} 浓度的制约, 向池塘水中添加相对更缺乏的那种缓冲物质(总 CO_2 或 Ca^{2+}) 可大幅度提高其缓冲能力。如: 0 号塘水的总 CO_2 与 Ca^{2+} 浓度之比为 1:1.47 (表1), 向池塘水中加入 1 mmol/L 的 HCO_3^- 比加入 2 mmol/L 的 Ca^{2+} 更能提高池水的缓冲能力(表3); 19 号塘水的总 CO_2 浓度与 Ca^{2+} 浓度之比为 6.7:1, 加入 0.5 mmol/L 的 Ca^{2+} 比加入 3 mmol/L 的 HCO_3^- 更有效; 6 号和 33 号塘也有类似现象。但同时加入 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 比单加任一种的缓冲效果在不同程度上有所增强。

由此可见, 当池塘水的总 CO_2 含量较低时, 应采用提高 CO_2 或 HCO_3^- 浓度的方法来控制高 pH; 当池塘水的 Ca^{2+} 含量较低时, 应采用提高 Ca^{2+} 浓度的方法来控制高 pH。

对于 $[\text{Ca}^{2+}]$ 高于总 CO_2 浓度的池塘, 将此类塘 $[\text{Ca}^{2+}]$ 的平均值 6.13 mmol/L、A 的平均值 0.56 代入拟合的(1)式中计算发现, 如果要将 pH 控制在 8.5 以内, 总 CO_2 含量必须提高到 4.03 mmol/L 以上; 若 A 为 0.85 (90% 的池塘低于此值), 总 CO_2 则必须提高到 4.64 mmol/L。对于总 CO_2 浓度高于 $[\text{Ca}^{2+}]$ 的池塘, 当 TC 为 5.56 mmol/L (此类塘的平均值)、A 为 0.56 时, 如果要将 pH 控制在 8.5 以内, Ca^{2+} 浓度必须提高到 1.75 mmol/L 以上; 若 A

为 0.85, Ca^{2+} 浓度必须提高到 2.22 mmol/L 以上。

笔者对大量 $\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ 和 $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$ 水型盐碱地池塘的调查发现,只有长期未养鱼池塘的高盐度自然渗出水 and 少量的盐度较高的养鱼塘(放养前未充分换入淡水)的总 CO_2 较低(一般低于 2.3 mmol/L), Ca^{2+} 含量较高(一般高于 3.5 mmol/L),而绝大部分养鱼塘水的 Ca^{2+} 浓度低于总 CO_2 浓度。

玉米粉对降低 pH 的作用非常显著^[6],这与其分解产生大量 CO_2 有关。据报道,用叶轮机增氧能大幅度降低 pH^[10],其原因显然与溶入 CO_2 以及促进有机质分解产生 CO_2 有关。对 Ca^{2+} 浓度高于总 CO_2 浓度的盐碱地池塘施用有机肥或使用增氧机来控制高 pH 可能是一个较好的办法。

用 CaCl_2 提高塘水的 Ca^{2+} 浓度时,其溶解度大,其实际用量与理论计算量可能比较接近;若用 CaSO_4 ,其溶解度较小,损失较大,须加倍使用^[5]。塘泥存在大量的 CaCO_3 ,在清塘时使用稀盐酸溶解它,灌水后可能会起到较好的效果。

致谢:本试验得到申屠青春、张美昭、李吉方等同志的帮助,特致谢忱。

参考文献:

- [1] 李德尚.水产养殖手册[M].北京:农业出版社,1993.8.
- [2] 吴新儒,雷衍之,许昌兴.淡水养殖水化学[M].北京农业出版社,1980.38-49.
- [3] 雷衍之,董双林,沈成钢.碳酸盐碱度对鱼类毒性作用的研究[J].水产学报,1985,9(2):171-183.
- [4] Boyd C E. Water quality in warm water fish ponds[M]. Auburn, Ala: Auburn Univ Agric Exp Sta, 1979. 359.
- [5] Mandal B K, Boyd C E. Reduction of pH in waters with high total alkalinity and low total hardness[J]. Progressive Fish Culturist, 1980, 42(3):183-185.
- [6] Pote J W, Cathcart T P, Deliman P N. Control of high pH in aquacultural ponds[J]. Aquacultural Engineering, 1990, 9: 175-186.
- [7] 李德尚,张美昭,赵曼华,等.指导大水域施肥的生氧量生物测试法的研究[J].海洋与湖沼,1988,19(6):539-546.
- [8] 北京农业大学,西北农学院,南京农学院.定量分析[M].第二版.上海:上海科技出版社,1986.230.
- [9] Wetzel R G. Limnology[M]. Second edition. New York: Saunders College Publishing, 1983. 192.
- [10] Chiayvareesajja S, Boyd C E. Effects of zeolite, formalin, bacterial augmentation, and aeration on total ammonia nitrogen concentrations[J]. Aquaculture, 1993, 116:33-45.

Study on buffer capacity of water ($\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$ and $\text{Cl}_{\text{III}}^{\text{Na}}$) in saline - alkaline pond

WEN Liang-yin¹, DONG Shuang-lin¹, ZHANG Zhao-qi¹,
LI De-shang¹, HAN Wen-liang², REN Yue-da²

(1. The Open Laboratory of Aquacultural Research, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China;

2. Aquaculture Research Institute of Gaoqing County, Gaoqing 256300, China)

Abstract: The experiment was conducted with 4 ponds ($\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$) in June, July and August, 1997. The results show that the increase of $[\text{OH}^-]$ (or pH value) in pond water correlated closely with the photosynthesis rate of photoplankton; the buffer capacity was controlled by the concentrations of total CO_2 and Ca^{2+} ; the increment of pH value caused by photosynthesis was greatly reduced by adding a certain kind of buffer, which was relatively deficient, into pond water. When total CO_2 (or ALK) content was relatively lower, mixing CO_2 into water was more effective to promote the water buffer capacity than adding HCO_3^- . The reason why pH values of pond water in saline - alkaline land were relatively higher was that the content of total CO_2 or Ca^{2+} was too lower. A multiple regression was developed to simulate the relationship between the increment of $[\text{OH}^-]$ based on the same photosynthesis rate and $[\text{Ca}^{2+}]$ or total CO_2 in pond water. Also a similar model was developed to simulate the relationship among the pH value, the contents of Ca^{2+} or total CO_2 and the relative biomass of algae (as absorbance at 400 nm wave length with 3cm cell).

Key words: saline - alkaline pond; chloride - type; buffer capacity; pH