

重碳酸盐型盐碱虾池浮游植物与理化因子的 相关关系

张树林,邢克智,陈 斌

(天津农学院 水产科学系暨天津市水产生态及养殖重点实验室,天津 300384)

摘要:选择重碳酸盐型盐碱南美白对虾塘作为研究对象,研究浮游植物与水体理化因子的相关关系。结果表明,与虾池浮游植物生物量显著相关的理化因子有水温、透明度、总碱度、化学耗氧量、氨氮和总磷,其中,水温、总碱度、化学耗氧量和氨氮呈显著正相关,透明度和总磷呈显著负相关,水温、透明度、总碱度、化学耗氧量、氨氮和总磷是影响虾池浮游植物高密度发生的重要理化因子。

关键词:浮游植物;理化因子;相关关系

中图分类号:S963.21⁺3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2008)01-0145-04

Studies on the Relationship Between Phytoplankton and Enviornmental Factors of the Alkalinities Composed of HCO_3^- Type in Shrimp Pond

ZHANG Shu-lin, XING Ke-zhi, CHEN Bin

(Tianjin Fisheries Culture Key Lab, The Department of Fisheries Science, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China)

Abstract: This paper studied the relation between phytoplankton and physical-chemical factors of the alkalinities composed of HCO_3^- type in shrimp pond. The results indicated: the correlation between phytoplankton biomass and water temperature, transparency, Alk, chemical oxygen demand, NH_4^+-N , $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ was significant. The correlation of water temperature, Alk, chemical oxygen demand and NH_4^+-N on the biomass was significantly positive, but transparency and $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ was significantly negative. It suggested that water temperature, transparency, Alk, chemical oxygen demand, NH_4^+-N , $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ were the important physical-chemical factors to affect the high density of phytoplankton.

Key words: Phytoplankton; Environmental factors; Correlation

养殖水体浮游植物是养殖对象的重要饵料,而各种理化因子与浮游植物有着密切的联系,探讨这些因子对浮游植物的影响,对于控制养殖水体浮游植物高密度发生有重要的理论和实际意义。近年来,国内外对海水、湖泊和水库浮游植物与环境因子的相关关系报道较多^[1-10],而对重碳酸盐型盐碱池塘浮游植物与环境因子的相关研究则未见报道。笔者于2004年6-7月在天津市西青区李七庄乡程村南美白对虾养殖池塘进行定期监测分析,探讨重碳酸盐型池塘浮游植物种类及生物量与水温、透明度、盐度、氯化物、溶解氧、pH、总碱度、总硬度、营养盐和化学耗氧量等环境因子的相互关系,以探求养殖

池塘浮游植物高密度发生的原因及控制措施。

1 材料和方法

1.1 池塘状况

试验点位于天津市西青区李七庄乡程村,随机选取两口南美白对虾池作为试材,1号水体面积和水深分别是0.53 hm^2 和0.8 m,2号池为0.27 hm^2 ,1.3 m。

1.2 测定项目

每周取水样1次,分别测定盐度(WZ-204型盐度计现场测定),pH(PHS-2C型酸度计),氯离子(银量测定法),溶解氧(DO,碘量法),硝酸盐(德国

收稿日期:2007-01-08

基金项目:天津市自然科学基金项目(043611411);天津市水产生态及养殖重点实验室创新项目(2004BA29)

作者简介:张树林(1963-),男,黑龙江齐齐哈尔人,副教授,在读博士,主要从事水生生物学的教学和科研工作。

CR2200 加热消解炉和 photolabS12 光电比色计测定),亚硝酸盐(萘乙二胺比色法),氨氮(次溴酸钠氧化法),磷酸盐(钼蓝比色法),总磷(TP,德国 photolabS12 光电比色计测定),化学耗氧量(碱性高锰酸钾法),叶绿素 a (Chl. a ,95 %丙酮研磨萃取后分光光度计法测定),总碱度(Alk)、碳酸氢根、碳酸根、总硬度(H_T)、钙离子、镁离子按文献[11]的方法测定。总无机氮(DIN)为硝酸盐、亚硝酸盐和氨氮之和。浮游植物定性样本用 25 号浮游生物网在池塘四角采集,5 %福尔马林固定保存。浮游植物定量测定采水样 1 000 mL 加 15 mL 鲁哥氏液,固定静置 24 h,浓缩至 30 mL 后摇匀取 0.1 mL,用浮游植物计数框进行镜检计数,按体积法换算成生物量(湿重)^[12]。

1.3 数据处理

采用线性回归方法分析浮游生物与理化因子关系,并计算出线性回归方程(表 1)。

2 结果与分析

2.1 虾池水质物理指标与浮游植物的相关性

1 号池和 2 号池水温与浮游植物生物量均呈显著正相关($r_1 = 0.794$, $r_2 = 0.881$),与赵文、董双林等^[13]对山东高青地区盐碱池塘的研究结果相符。试验期间两池水温一般在 25 以上,因此一直是喜高温的蓝、绿藻占优势群落,其他喜低温的藻类数量不高,金藻门甚至未检出,说明温度对浮游植物类群及其生物量的影响较大。

1 号和 2 号池透明度平均为(23.0 ±2.98)cm 和(31.25 ±8.68)cm,两池总的变化趋势是,随着养殖时间的延长,水体透明度逐渐降低,说明由于浮游生物高密度发生,水中浮游生物,生物量逐渐增大,而且水中悬浮物数量也不断增加,造成水体透明度降低。两池生物量与透明度呈显著负相关($r_1 = -0.797$, $r_2 = -0.839$),这与何志辉等^[14,15]的生物量与透明度存在负相关的结果基本一致,而与阎喜武^[16]对庄河青堆虾池研究得出的水体生物量与透明度相关不显著的结果相反,这反映出虾池浮游植物生物量与透明度的关系是不稳定的,其间的相关性受浮游植物种类组成和数量、测定透明度时间、浮游动物的种类和数量、有机碎屑和无机悬浮物数量、放养虾的种类及养殖模式等众多因素的影响。

2.2 虾池水化学指标与浮游植物的相关性

2.2.1 盐度 1 号和 2 号池盐度平均为(1.8 ±0.4)和(2.3 ±0.6),两池盐度变化幅度不大,适宜浮游植物生长繁殖。两池浮游植物生物量与盐度均呈负相关关系($r_1 = -0.495$ 和 $r_2 = -0.429$)与林更铭^[17]研

表 1 浮游植物各参数(Y)与主要水化因子(X)之间的回归分析

Tab.1 Regression analysis between parameters and main factors of phytoplankton

X	r	r ²	Y 和 B
HT	$r_1 = 0.308$	$r_1^2 = 0.095$	$Y_1 = 62.814 X - 2 285.1$
	$r_1 = 0.033$	$r_1^2 = 0.001$	$B_1 = 0.032 1 X + 49.628$
	$r_2 = 0.385$	$r_2^2 = 0.148$	$Y_2 = 8.672 X + 1 076.3$
Alk	$r_2 = 0.422$	$r_2^2 = 0.178$	$B_2 = 0.069 2 X + 18.041$
	$r_1 = 0.859$	$r_1^2 = 0.378$	$Y_1 = 34.382 X - 123 78$
	$r_1 = 0.872$	$r_1^2 = 0.761$	$B_1 = 0.163 3 X - 31.989$
Cl ⁻	$r_2 = 0.766$	$r_2^2 = 0.587$	$Y_2 = 8.277 13 X - 909.47$
	$r_2 = 0.692$	$r_2^2 = 0.479$	$B_2 = 0.054 4 X - 7.762 5$
	$r_1 = -0.603$	$r_1^2 = 0.364$	$Y_1 = -38.55 X + 29 150$
COD	$r_1 = -0.599$	$r_1^2 = 0.359$	$B_1 = -0.179 3 X + 162.96$
	$r_2 = -0.324$	$r_2^2 = 0.105$	$Y_2 = -4.438 X + 7 154.6$
	$r_2 = -0.192$	$r_2^2 = 0.037$	$B_2 = -0.019 7 X + 51.457$
NO ₃ ⁻ -N	$r_1 = 0.664$	$r_1^2 = 0.440$	$Y_1 = 741.35 X - 123 18$
	$r_1 = 0.662$	$r_1^2 = 0.438$	$B_1 = 3.459 4 X - 30.193$
	$r_2 = 0.774$	$r_2^2 = 0.595$	$Y_2 = 244.25 X - 2 139.6$
NO ₂ ⁻ -N	$r_2 = 0.676$	$r_2^2 = 0.458$	$B_2 = 1.557 9 X + 0.675 5$
	$r_1 = 0.522$	$r_1^2 = 0.272$	$Y_1 = 11 264 X + 1 443.9$
	$r_1 = 0.256$	$r_1^2 = 0.066$	$B_1 = 25.853 X + 44.015$
NH ₄ ⁺ -N	$r_2 = 0.858$	$r_2^2 = 0.736$	$Y_2 = 165 333 X - 309.69$
	$r_2 = 0.856$	$r_2^2 = 0.733$	$B_2 = 120.01 X - 939 81$
	$r_1 = 0.470$	$r_1^2 = 0.221$	$Y_1 = 102 785 X + 3 389.1$
PO ₄ ³⁻ -P	$r_1 = 0.454$	$r_1^2 = 0.206$	$B_1 = 464.42 X + 43.437$
	$r_2 = 0.610$	$r_2^2 = 0.373$	$Y_2 = 760 75 X + 2 515.2$
	$r_2 = 0.477$	$r_2^2 = 0.228$	$B_2 = 432.62 X + 30.726$
TP	$r_1 = 0.582$	$r_1^2 = 0.339$	$Y_1 = 2 744.3 X + 3 356.7$
	$r_1 = 0.656$	$r_1^2 = 0.430$	$B_1 = 14.474 X + 41.553$
	$r_2 = 0.574$	$r_2^2 = 0.330$	$Y_2 = 1 776.3 X + 2 273.3$
TP	$r_2 = 0.926$	$r_2^2 = 0.756$	$B_2 = 22.781 X + 16.12$
	$r_1 = 0.230$	$r_1^2 = 0.053$	$Y_1 = 76 511 X + 4 255.7$
	$r_1 = 0.273$	$r_1^2 = 0.074 5$	$B_1 = 423.94 X + 45.92$
TP	$r_2 = 0.250$	$r_2^2 = 0.062$	$Y_2 = 15 177 X + 2 919.7$
	$r_2 = 0.224$	$r_2^2 = 0.050$	$B_2 = 99.071 X + 32.926$
	$r_1 = -0.524$	$r_1^2 = 0.274$	$Y_1 = -7 899.3 X + 101 20$
TP	$r_1 = -0.526$	$r_1^2 = 0.277$	$B_1 = -37.115 X + 74.654$
	$r_2 = -0.545$	$r_2^2 = 0.297$	$Y_2 = -6 809 X + 4 306.4$
	$r_2 = -0.594$	$r_2^2 = 0.353$	$B_2 = -53.975 X + 43.753$

注: Y₁, B₁, r₁, r₁² 表示 1 号池; Y₂, B₂, r₂, r₂² 表示 2 号池, Y 和 B 分别代表细胞数量和生物量。

Note: Y₁, B₁, r₁, r₁² signs No. 1 pond; Y₂, B₂, r₂, r₂² signs No. 2 pond; Y and B signs cell number and biomass, respectively.

究结果相同,表明浮游植物的生长受盐度影响较大,盐度大不利于淡水种类的生长。从浮游植物组成上看,基本是淡水种类,2 号池因紧靠半咸水池塘盐度稍高,出现少量半咸水种类如牟勒氏角毛藻等。

2.2.2 氯化物 1 号和 2 号池氯化物平均含量分别为(609.35 ±108.66) mg/L 和(927.52 ±161.87) mg/L,2 号池明显高于 1 号池。两池氯化物与浮游植物生物量呈负相关,其中 1 号池显著负相关。

2.2.3 pH 1 号和 2 号池 pH 分别为(9.23 ±0.08)和(8.68 ±0.11),变幅不大。且 pH 值偏高,分析原因主要是由于池水硬度和碱度较高,增强水体缓冲容量,抑制 pH 的强烈变化,从而减少浮游植物对 pH 强烈变化而进行的调节适应,有利于浮游植物生长繁殖。pH 与浮游植物生物量呈正相关,但不显著

($r_1 = 0.069$, $r_2 = 0.153$)。

2.2.4 总碱度,碳酸氢根,碳酸根 两池的 $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ 比值分别为 0.11 和 0.10,按总碱度划分属于重碳酸盐型。两池总碱度与浮游植物生物量显著正相关, HCO_3^- 含量与浮游植物生物量也显著正相关 ($B_1 = 0.107X - 22.52$, $r_1 = 0.88$; $B_2 = 0.078X - 8.08$, $r_2 = 0.72$)。浮游植物所需 CO_2 ,主要来自 HCO_3^- 的分解产物, HCO_3^- 含量高时,可以在浮游植物大量繁殖时充分补充被消耗的 CO_2 。因此, HCO_3^- 的含量是浮游植物能否高密度发生的重要因素。

2.2.5 Ca^{2+} , Mg^{2+} ,总硬度 虽然钙参与植物细胞壁的形成,镁是叶绿素的组成元素,但因为一般情况下浮游植物对钙、镁的需求量并不大,所以,水体钙和镁的含量对浮游植物的影响并不显著。试验结果表明,两池浮游植物生物量与 Ca^{2+} ($B_1 = 0.64X + 8.23$, $r_1 = 0.25$, $B_2 = 0.28X + 5.07$, $r_2 = 0.21$) 及 Mg^{2+} ($B_1 = -0.67X + 84.50$, $r_1 = 0.331$; $B_2 = 0.087X + 14.41$, $r_2 = 0.094$) 均呈不显著的正相关。

总硬度是养虾用水的一项重要指标,1 号和 2 号池平均总硬度分别为 (126.43 ± 17.29) mg/L 和 (226.23 ± 38.41) mg/L ,2 号池明显偏高。两池浮游植物生物量与总硬度不显著正相关,与卢敬让、李德尚等^[2]得出的浮游植物生物量与总硬度有正相关趋势,但多数相关并不显著的结果是一致的。

2.2.6 溶解氧 1 号和 2 号虾池溶解氧平均分别为 (4.50 ± 2.12) mg/L 和 (5.82 ± 2.43) mg/L 。与浮游植物生物量呈正相关,但不显著 ($r_1 = 0.083$, $r_2 = 0.342$),这可能与调查期间虾池水体中各种有机物丰富,其氧化分解耗氧较多有关,有机耗氧量的测量数据也证明了这一点。

2.2.7 化学耗氧量 水体中 COD 的来源主要有 2 个方面:一是水生生物的体外代谢产物;二是养殖对虾的粪便和溶解在水中的残饵。1 号和 2 号池 COD 平均为 (24.25 ± 2.23) mg/L 和 (21.20 ± 1.57) mg/L ,与浮游植物生物量均成显著正相关关系,与卢敬让、李德尚等^[2]和孙耀等^[18]的研究结果类似。

2.2.8 氨氮 供试虾池氨氮含量偏高,平均含量分别为 (0.84 ± 0.63) mg/L 和 (0.43 ± 0.26) mg/L ,而且呈逐渐增大的趋势,这可能是由于水体中对虾生物量逐渐增大,有机碎屑、残饵数量剧增,养殖生物排氮作用和有机物的氨化作用,使水中氨态氮含量增加。氨氮含量与浮游植物生物量显著正相关,表明氨氮在浮游植物的生长中起很重要的作用,氨氮含量过高,是两个池塘浮游植物高密度发生的重要

物质基础。

2.2.9 硝酸盐 1 号和 2 号池硝酸盐平均含量分别为 (0.37 ± 0.14) mg/L 和 (0.20 ± 0.03) mg/L ;硝酸盐含量与浮游植物生物量呈正相关,1 号池的相关性不如氨态氮大,这是因为当氨氮存在时,藻类一般先利用氨氮,再利用硝氮^[18,19],但 2 号池则相反,说明藻类对氮的利用不仅与氮的形态有关,同时还受其他许多因素的影响。

2.2.10 亚硝酸盐 1 号和 2 号池亚硝酸盐含量总的变化趋势是逐渐升高,这可能是水体中有机物大量积累,底层厌氧分解的结果。两池亚硝酸盐含量与浮游植物生物量正相关,平均含量分别为 (0.022 ± 0.013) mg/L 和 (0.0069 ± 0.003) mg/L 。

2.2.11 总磷和磷酸盐 1 号和 2 号池总磷平均含量分别为 (0.56 ± 0.20) mg/L 和 (0.19 ± 0.06) mg/L ,线性回归分析表明,作为磷酸盐主要补充源的总磷含量与浮游植物生物量显著负相关。

1 号和 2 号池磷酸盐含量平均分别为 (0.018 ± 0.001) mg/L 和 (0.008 ± 0.0002) mg/L ,磷酸盐磷占总磷的比例较低,两池磷酸盐含量与浮游植物生物量正相关。总体上看,试验期间水体中总磷含量减少,而磷酸盐浓度增加,主要是由于水体中的浮游动物所排泄的溶解磷几乎都呈正磷酸盐形式,这使得总磷中的一部分非正磷酸盐形式的磷经过浮游生物的代谢、微生物的降解或转化等作用而转变为正磷酸盐。

2.2.12 $\text{DIN}/\text{PO}_4^{3-}$ 试验期间 1 号和 2 号池的总无机氮平均分别为 1.23 mg/L 和 0.64 mg/L ,远高于一般认为的浮游植物所需的含氮量 (0.3 mg/L)^[18],三氮中氨氮含量最高,是无机氮的主要形式。如按照邹景忠等^[20]提出的营养盐阈值标准 (水体中无机氮为 0.2~0.3 mg/L ,无机磷为 0.04 mg/L),1 号和 2 号池池水中的无机氮平均值均远远超过该阈值,处于氮富营养化状态。无机磷相比于无机氮含量较低,未达到富营养化水平,但总磷含量偏高仍可能导致富营养化出现。水体无机氮和总磷含量偏高,是由于在养殖期间注入一定量未完全净化的污水,带进了较丰富的氮源和磷源,再加上人工饵料中蛋白质的分解矿化能提供较丰富的无机氮。

1 号和 2 号池的 $\text{DIN}/\text{PO}_4^{3-}$ 平均分别为 67.39 1 和 81.91 1,与卢敬让、李德尚等^[2]对水库的调查结果类似,远大于浮游植物对氮磷比值的要求 (7 1~14 1)。Darley^[21]认为,高氮磷比 (>30),意味着磷限制,低氮磷比 (<5) 意味着氮限制。Coraco 研究了盐度在 0~31 g/L 之间的沿海池塘浮游植物生长的

营养限制,指出盐度较低时(0~6.5 g/L)为磷限制,仅在高盐组(31 g/L)表现氮限制。阎喜武等^[22]也指出,海水养虾池为磷限制。因此,磷一般是养殖虾池浮游植物的限制因子,但实际上本试验中由于虾池总磷含量过高,作为磷源可以不断转化成无机磷供给浮游植物生长的需要,磷并没有对浮游植物生长形成限制。

2.3 Shannon-Weaner 多样性指数与水质富营养化的关系

Shannon-Weaner 多样性指数测量了群落的异质性与稳定性,多样性指数(H)越大,其所代表生态系

统的信息含量就越高。从表 2 可以看出,前期的 H 值普遍大于后期,从生态学的角度来看,水质富营养化的主要特征是过量的营养盐和有机物引起的植物种类发生变化,多样性指数降低^[23]。与赵文等^[13,24]关于在夏季浮游植物生长高峰期,浮游植物多样性指数较低的结论一致。统计结果表明,由于虾池浮游植物群落结构简单,优势种单一,导致虾池 H 值相对较低;随着养殖时间延长,投饵增加,进而残饵和代谢物质增加,水质富营养化程度增高,H 值也相应降低,显然水体中过量的营养盐是造成虾池 H 值相对较低,水质富营养化程度增高的主要原因。

表 2 虾池浮游植物多样性指数

Tab. 2 Diversity of phytoplankton in shrimp ponds

月 - 日	06 - 01	06 - 08	06 - 15	06 - 22	06 - 29	07 - 06	07 - 13	07 - 20
1 号池	2.48	2.12	2.52	2.26	1.79	2.12	2.15	2.11
2 号池	2.25	2.23	2.32	2.25	2.15	2.12	2.12	2.10

3 结论

试验结果表明,与虾池浮游植物生物量显著相关的理化因子有水温、透明度、总碱度、化学耗氧量、氨氮和总磷,其中水温、总碱度、化学耗氧量、氨氮呈显著正相关,透明度和总磷呈显著负相关,水温、透明度、总碱度、化学耗氧量、氨氮和总磷是虾池浮游植物高密度发生的重要理化因子。

参考文献:

[1] 崔毅,陈碧娟,马绍赛. 乳山湾浮游植物与环境因子的相关关系研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(6): 935 - 938.

[2] 卢敬让,李德尚,周春生. 山东省大中型水库浮游植物与环境因子的关系研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 24(4): 505 - 510.

[3] 申屠青春,董双林,赵文,等. 盐度、碱度对浮游生物和水化因子的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 449 - 454.

[4] 王修林,张蕾,韩秀荣,等. 营养盐对海洋浮游植物生长的影响[J]. 海洋科学进展, 2002, 20(3): 96 - 101.

[5] Sakamota Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes[J]. Arch Hydrobiol, 1978, 23(3): 478 - 486.

[6] Smith V H. The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical theoretical analysis[J]. Limnol Oceanogr, 1982, 27(6): 1101 - 1112.

[7] Stockner J C, Shortreed K S. Whole-lake fertilization experiments in coastal British Columbia lakes: nutrient in Empirical relationships between puts and phytoplankton biomass and production[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1985, 42: 649 - 658.

[8] Sullivan P F, Carpenter F R. Evaluation of fourteen trophic

state reservoirs[J]. Environ, 1982, 27: 143 - 153.

[9] 暨卫东. 福建沿海地区营养盐、水温、盐度以及浮游植物的相互关系研究[J]. 热带海洋, 1989, 8(2): 55 - 64.

[10] 林昱. 海水无机氮对浮游植物的影响研究[J]. 生态学报, 1994, 14(3): 323 - 326.

[11] 湛江水产专科学校. 淡水养殖水化学[M]. 北京: 农业出版社, 1981.

[12] 李永函,赵文. 水产饵料生物学[M]. 大连: 大连出版社, 2002: 332.

[13] 赵文,董双林. 氯化物水型盐碱池塘浮游植物的季节演替[J]. 中国水产科学, 2000, 7(2): 43 - 49.

[14] 何志辉,李永函. 无锡市河埭口高产鱼池水质研究浮游生物[J]. 水产学报, 1983, 7(3): 294 - 305.

[15] Robert. Atrophic state index for lakes[J]. Limnol Oceanogr, 1977, 22: 361 - 369.

[16] 阎喜武. 庄河青堆虾池的浮游生物[J]. 大连水产学院学报, 1992, 7(4): 9 - 24.

[17] Lin G M. Relationship between phytoplankton and environmental factors[J]. Mar Sci Bull, 1993, 12(6): 40 - 45.

[18] 孙耀,于宏,杨琴芳,等. 丁子湾养殖海域营养状况的化学指标分析与评价[J]. 水产学报, 1990, 14(1): 33 - 39.

[19] Marshall Darley. Algalbiology[M]. London: Blackwell Scientific Publications, 1982: 42.

[20] 邹景忠,董丽萍. 渤海富营养化和赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学, 1983, 2(2): 45 - 54.

[21] Darley W M. Algal Biology: A Physiological Approach Oxford[M]. London: Blackwell, scientific publication, 1982.

[22] 阎喜武,何志辉. 虾池浮游植物初级生产力的研究[J]. 水产学报, 1997, 21(3): 288 - 295.

[23] 米振琴,谢骏. 精养虾池浮游植物、理化因子与虾病的关系[J]. 上海水产大学学报, 1999, 8(4): 304 - 308.

[24] 秦建光. 哈尔滨地区高产鱼池水质研究 浮游生物[J]. 大连水产学院学报, 1994(1): 15 - 25.