

doi: 10.7541/2015.158

温度和氮磷浓度对平裂藻和栅藻生长及竞争的影响

李晓莉 陶 玲 毛梦哲 苟 青 李 谷

(中国水产科学研究院长江水产研究所, 武汉 430223)

摘要: 为了解温度及氮磷浓度对平裂藻和栅藻生长及竞争的影响, 分别在 18、25 和 35℃ 条件下, 以 BG11 培养基为基础, 设置了不同的氮磷浓度组, 进行了 2 种藻的单独培养试验和混合培养试验, 结果表明: 在纯培养条件下, 低营养浓度组(磷浓度分别为 0.1 和 0.5 mg/L)平裂藻在 3 种温度下基本停止生长, 高营养盐浓度组(磷浓度分别为 1.0 和 1.5 mg/L)除 18℃ 1.0 mg/L 组停止生长外, 其余均能正常生长增殖, 且细胞最大密度表现为 25℃ > 18℃ > 35℃, 1.5 和 1.0 mg/L 浓度组细胞生长差异不显著。栅藻在纯培养条件下, 细胞密度总体表现为随着营养盐浓度升高而增加的趋势, 细胞最大密度表现为 18℃ > 25℃ > 35℃。在混合培养试验中, 除 35℃、1.5 mg/L 组平裂藻对栅藻的竞争抑制参数大于栅藻对平裂藻的竞争抑制参数外, 其余试验组均表现为栅藻受平裂藻影响较小。在混合培养体系中, 0.1 mg/L 组平裂藻仍基本停止生长, 0.5 mg/L 组受栅藻的刺激作用, 生长优于纯培养体系。1.0 和 1.5 mg/L 组均受栅藻的抑制作用, 且浓度越高抑制作用越强。

关键词: 温度; 氮磷浓度; 平裂藻; 栅藻; 竞争

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2015)06-1217-07

浮游植物是水生态系统的初级生产者, 其种群变动和群落结构直接影响着水生态系统的结构和功能^[1, 2]。浮游植物的生长不仅受温度、营养盐、细胞起始密度、盐度、光照等的直接影响, 同时也受浮游植物间竞争的影响, 而上述环境因素又对竞争过程起重要作用。

平裂藻是蓝藻门的重要藻类, 也是淡水池塘养殖及湖泊、水库中常见的优势藻种^[2-6], 甚至形成水华, 养殖过程中平裂藻水华被认为对鱼类的生长有不利作用^[7], 大多数食藻鱼类如鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)^[8]及罗非鱼(*Oreochromis* spp.)^[9]都不能消化平裂藻。但目前关于平裂藻的报道较少, 对平裂藻与其他藻类的竞争关系也未见报道。栅藻是淡水养殖池塘中的常见优势绿藻^[10], 笔者在分析草鱼养殖池塘浮游植物群落结构的过程中发现平裂藻和栅藻交替成为池塘水体中的优势藻种^[11], 但对两种藻类生长和竞争的规律却不得而知。

温度和营养盐是影响藻类生长的两大重要因素, 在淡水池塘养殖中, 氮磷营养盐会随着饵料的投喂及水处理措施的实施而出现波动, 进一步影响浮游植物群落结构的变化。因此, 作者拟通过开展不同温度和氮磷营养盐对两种藻生长和竞争的影响试验, 模拟淡水池塘养殖时期温度和营养盐状况, 探讨温度和氮磷浓度对其的影响, 为构建池塘优良藻相提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试藻种平裂藻(*Merismopedia* FACHB-193)和四尾栅藻(*Scenedesmus obliquus* FACHB-1468)均购自中国科学院水生生物研究所。试验所用玻璃器皿冲洗后均于 0.1 mol/L 的 HCl 中浸泡 2h, 再用自来水和蒸馏水分别冲洗, 然后高温灭菌 30min, 烘干备用。

1.2 试验仪器

光照培养箱(上海新苗 GZX-150BS-III)(控温精

收稿日期: 2015-02-10; 修订日期: 2015-06-02

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD25B05); 现代农业产业技术体系建设专项(NYCYTX-49)资助

作者简介: 李晓莉(1981—), 女, 山东潍坊人; 硕士; 助理研究员; 研究方向为水产养殖与池塘生态。E-mail: lxl@yfi.ac.cn

通信作者: 李谷, E-mail: ligu667@yahoo.com

度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、光照度 0—10000 lx)、奥林巴斯生物显微镜(BX-53)、特制藻类计数板(中国科学院水生生物研究所提供)和 250 mL 三角烧瓶(高温消毒灭菌)等。

1.3 培养方法

试验藻种经扩大培养达到所需的细胞数量后,常温下 4000 r/min 离心 10min, 去上清液, 然后将藻种稀释到一定体积, 摇匀计数, 然后分装到已经装有培养基的三角烧瓶中。培养基采用平裂藻和栅藻均适宜生长的 BG11 培养基为基础, 改变氮磷的质量浓度。培养方法参照朱伟等^[12], 培养光强为 2500 lx, 光暗比 12h : 12h, 培养过程包括单独培养和混合培养两种: (1)单独培养, 将平裂藻和栅藻分别接入预先装有灭菌的新配制培养基的三角瓶中, 每个处理设 3 个平行; (2)混合培养, 将 2 种藻按密度比 1 : 1 接入同样处理的三角瓶中, 每个处理设 3 个平行, 移入培养箱。平裂藻和栅藻的初始密度均为 0.5×10^5 cells/mL。从接种之日起, 隔天取样在显微镜下计数。

根据华中地区养殖季节水温情况, 设 3 个温度梯度分别为 18、25 和 35°C 。根据野外调查, 池塘养殖水体的 N/P 值大多处于 8—14^[13, 14], 本实验采用 N/P 值为 10, 参考养殖水体的营养水平, 设定磷的原子质量浓度分别为 0.1、0.5、1 和 1.5 mg/L。

1.4 细胞计数

自接种之日(第 1 天)起, 每 2 天在同一时间取样 0.1 mL, 滴加于浮游植物计数框中, 盖上盖玻片, 于显微镜下观察并计数。取样过程在超净工作台中进行。

1.5 数据整理

生长曲线拟合 以逻辑斯谛方程拟合藻类的增长过程^[15]。首先进行参数估计, 以每个处理组的最大生物量($N_{\max}$)作为各自的 K 估计值。应用逻辑斯谛方程的对数形式(式 1), 以最小二乘法进行回归分析, 获得该方程的截距和斜率作为 a 和 r 的估计值。

$$\ln \frac{K-N}{N} = a - rt \quad (1)$$

式中: N 为藻类生物量, K 为最大生物量, r 为内禀增长率, t 为培养时间。

竞争抑制参数的计算 参考孟顺龙等^[1]、茅华等^[16]的报道, 利用 Lotka-Volterra 竞争模型的差分形式(式 2、3)计算竞争抑制参数。

$$\frac{N_{mn} - N_{mn-2}}{t_n - t_{n-2}} = \frac{r_m N_{mn-2} (K_m - N_{mn-2} - \alpha N_{sn-2})}{K_m} \quad (2)$$

$$\frac{N_{sn} - N_{sn-2}}{t_n - t_{n-2}} = \frac{r_s N_{sn-2} (K_s - N_{sn-2} - \beta N_{mn-2})}{K_s} \quad (3)$$

式中: N_{mn} 和 N_{sn} 分别为混合培养中的平裂藻和四尾栅藻在时间 t_n 时的数量($\times 10^5$ cells/mL); N_{mn-2} 和 N_{sn-2} 分别为混合培养中平裂藻和四尾栅藻在时间 t_{n-2} 时的数量($\times 10^5$ cells/mL); r_m 和 r_s 分别为平裂藻和四尾栅藻的内禀增长率(由单种培养经回归计算获得); K_m 和 K_s 分别为平裂藻和四尾栅藻的最大环境容量(由单种培养获得); α 和 β 分别为混合培养中四尾栅藻对平裂藻和平裂藻对四尾栅藻的竞争抑制参数。

1.6 统计分析

统计分析在 SPSS 15.0 软件中进行。用 One-way ANOVA 检验不同条件下各指标显著性差异; $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 在 18°C 条件下营养盐对两种藻生长和竞争的影响

如图 1 所示, 在纯培养体系中 18°C 条件下, 只有 1.5 mg/L 组的平裂藻能够正常生长和增殖, 细胞密度可达 34.64×10^5 cells/mL。其他 3 个浓度组的细胞则受到温度限制, 不能正常生长。在混合培养体系中, 1.5 mg/L 浓度组则受到栅藻生长的抑制作用, 不能正常生长, 相反的是, 0.5 mg/L 浓度组则受到刺激作用, 表现出较好的生长趋势, 细胞密度可达 13.45×10^5 cells/mL, 显著高于同时期相同浓度下纯培养体系中的细胞密度值。四尾栅藻在 18°C 不同营养盐浓度条件下, 细胞均能生长, 且营养盐浓度对细胞的影响作用明显, 在纯培养体系和混合培养体系中, 细胞最大密度均表现为高营养盐浓度组(1.5 和 1.0 mg/L)高于低浓度营养盐组(0.1 和 0.5 mg/L), 在纯培养体系中该差异更显著, 细胞最大密度按照营养盐从高到低的顺序依次为 22.71×10^5 、 19.88×10^5 、 4.2×10^5 和 7.66×10^5 cells/mL。在混合培养体系中, 0.5 mg/L 浓度组细胞最大生物量显著高于纯培养体系中相同营养盐浓度的值($P < 0.05$), 可达 10.92×10^5 cells/mL。

2.2 在 25°C 条件下营养盐对两种藻生长和竞争的影响

从图 2 中可以看出, 无论是纯培养还是混合培养, 营养盐浓度均对平裂藻的生长有显著影响。在纯培养中, 高浓度营养盐组(1.5 和 1.0 mg/L)藻细胞生物量显著高于低营养组(0.5 和 0.1 mg/L)($P < 0.05$),

其中 0.5 mg/L 浓度组细胞基本处于停止生长状态。在相同培养时间下, 平裂藻的生物量表现为 1 mg/L 组 > 1.5 mg/L 组 > 0.1 mg/L 组 > 0.5 mg/L 组。按营养盐从高到低顺序, 细胞的最大密度分别为 32.16×10^5 、 42.55×10^5 、 0.67×10^5 和 7.24×10^5 cells/mL。混合培养时, 除 0.5 mg/L 浓度组外, 其余浓度组均受到四尾栅藻的抑制作用, 细胞密度均低于同时期纯培养中的细胞密度, 0.5 mg/L 浓度组与同时期纯培养时

相比, 细胞密度显著提高。在相同培养时间下, 平裂藻的生物量表现为 1.0 mg/L 组 > 0.5 mg/L 组 > 1.5 mg/L 组 > 0.1 mg/L 组。按营养盐从高到低顺序, 细胞的最大密度分别为 5.39×10^5 、 26.89×10^5 、 19.75×10^5 和 1.13×10^5 cells/mL。从图 2 中可以看出, 纯培养和混合培养的四尾栅藻在相同培养时间下, 相同营养盐浓度组的细胞生长趋势、细胞密度基本一致, 四尾栅藻受平裂藻的影响较小。在相同培养时间下 0.5、1.0

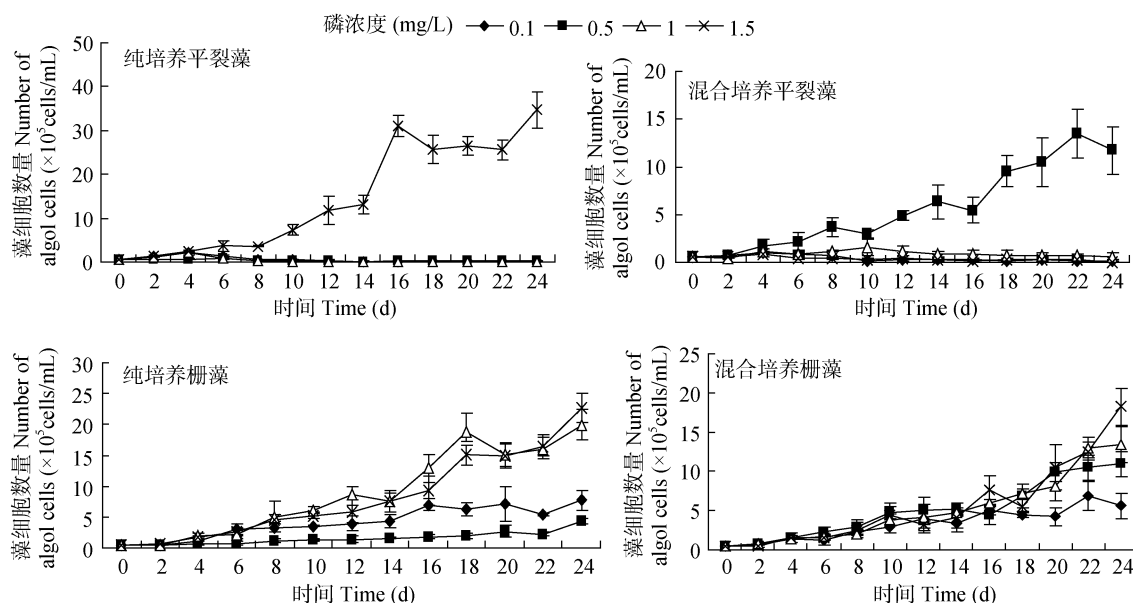


图 1 18°C 不同氮磷浓度平裂藻和四尾栅藻纯培养组及混合培养组的生长曲线

Fig. 1 The growth curves of *Merismopedia* and *Scenedesmus* in the co-culture and uni-culture systems with nutrients at different concentrations at 18°C

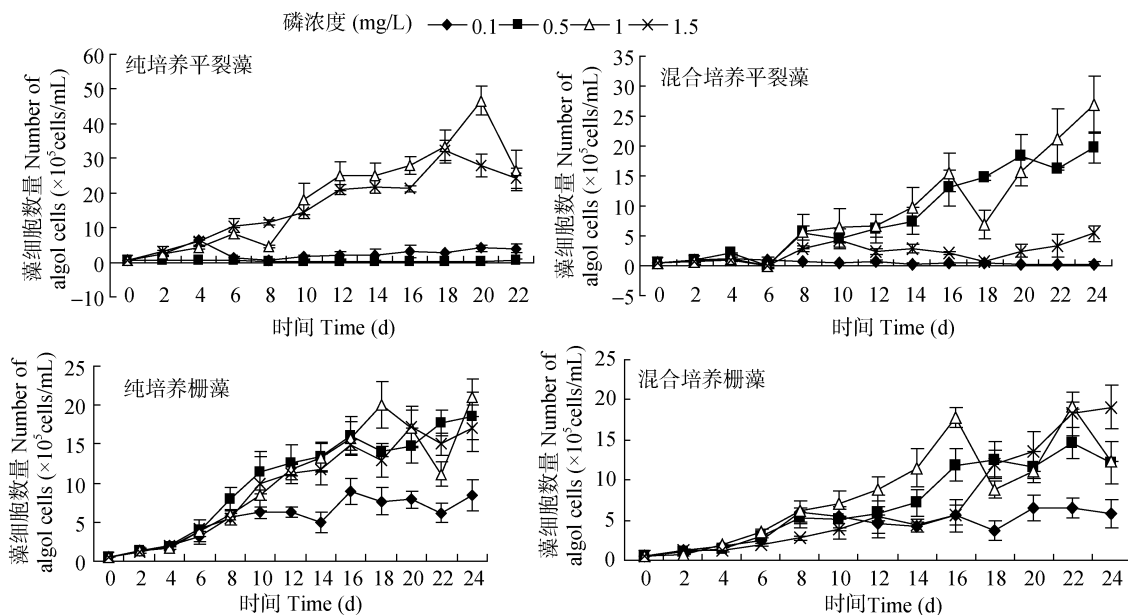


图 2 25°C 不同氮磷浓度平裂藻和四尾栅藻纯培养组及混合培养组的生长曲线

Fig. 2 The growth curves of *Merismopedia* and *Scenedesmus* in the co-culture and uni-culture systems with nutrients at different concentrations at 25°C

和 1.5 mg/L 浓度组细胞密度均显著高于 0.1 mg/L 浓度组 ($P < 0.05$), 而 0.5、1 和 1.5 mg/L 浓度组之间差异不显著。按营养盐从高到低排序, 细胞的最大密度分别为 17.24×10^5 、 20.95×10^5 、 18.61×10^5 和 9.00×10^5 cells/mL (纯培养体系); 19.06×10^5 、 17.78×10^5 、 14.61×10^5 和 6.56×10^5 cells/mL (混合培养体系)。

2.3 在 35℃ 条件下营养盐对两种藻生长和竞争的影响

从图 3 中可以看出, 在 35℃、1.5 和 1.0 mg/L 营养盐浓度条件下, 平裂藻能够正常生长和增殖, 细胞最大密度可达 19.95×10^5 和 16.47×10^5 cells/mL, 显著低于 25℃ 相同营养盐浓度下的最大细胞密度 ($P < 0.05$)。而在 0.5 和 0.1 mg/L 条件下细胞生长基本处于停滞状态, 在混合培养体系中, 除 0.5 mg/L 外, 平裂藻的生长均受到栅藻的抑制作用, 细胞密度显著低于相同条件下单独培养体系中的细胞密度 ($P < 0.05$), 1.5 mg/L 时细胞受到的抑制作用最大, 基本不能正常生长, 1.0 mg/L 的细胞密度也显著低于相同培养条件下单独培养时的细胞密度 ($P < 0.05$), 最大值仅为 6.33×10^5 cells/mL, 且细胞随后逐渐凋亡。在 0.5 mg/L 培养条件下, 细胞生长受到栅藻的刺激作用, 显著高于单独培养时的细胞密度值 ($P < 0.05$), 最大值为 4.69×10^5 cells/mL。与 25℃ 培养条件下的细胞生长情况相似, 在纯培养和混合培养的四尾栅藻在相同培养时间下, 相同营养盐浓度组的细胞生

长趋势基本一致。在相同培养时间下 0.5、1.0 和 1.5 mg/L 浓度组细胞密度均显著高于 0.1 mg/L 浓度组, 而 0.5、1 和 1.5 mg/L 浓度组之间差异不显著。1.5 mg/L 浓度组混合培养体系的细胞最大密度值显著低于纯培养体系 ($P < 0.05$)。0.5 mg/L 浓度组混合培养体系的细胞最大密度值显著低于纯培养体系 ($P < 0.05$)。按营养盐从高到低排序, 细胞的最大密度分别为 19.00×10^5 、 16.81×10^5 、 14.82×10^5 和 5.16×10^5 cells/mL (纯培养体系); 14.26×10^5 、 16.90×10^5 、 9.35×10^5 和 5.29×10^5 cells/mL (混合培养体系)。

2.4 在不同条件下两种藻的竞争抑制参数

图 4 所示为两种藻在不同生长条件下的竞争抑制参数。图中 α 为栅藻对平裂藻的竞争抑制参数, β 为平裂藻对栅藻的竞争抑制参数。如图 1、2、3 所示, 在混合培养体系中, 平裂藻在 18、25 及 35℃ 的 0.1 mg/L 及 18℃、1.0 mg/L 条件下依旧不能正常生长, 故平裂藻与栅藻间的竞争抑制参数忽略不计。从图 4 可以看出, 在试验设计的温度范围内, 0.5 mg/L 浓度条件下, α 均为负值, 表明在上述条件下栅藻对平裂藻均起促进作用, 1.0 mg/L 浓度组和 1.5 mg/L 浓度组的 α 均为正值, 且后者明显大于前者, 表明在较高营养盐浓度下, 栅藻对平裂藻起抑制作用, 且在试验浓度范围内, 浓度越高, 抑制作用越强烈。在 18 和 25℃ 条件下的 α 明显大于 35℃。平裂藻对栅藻除在 35℃、1.5 mg/L 条件下, 起明显

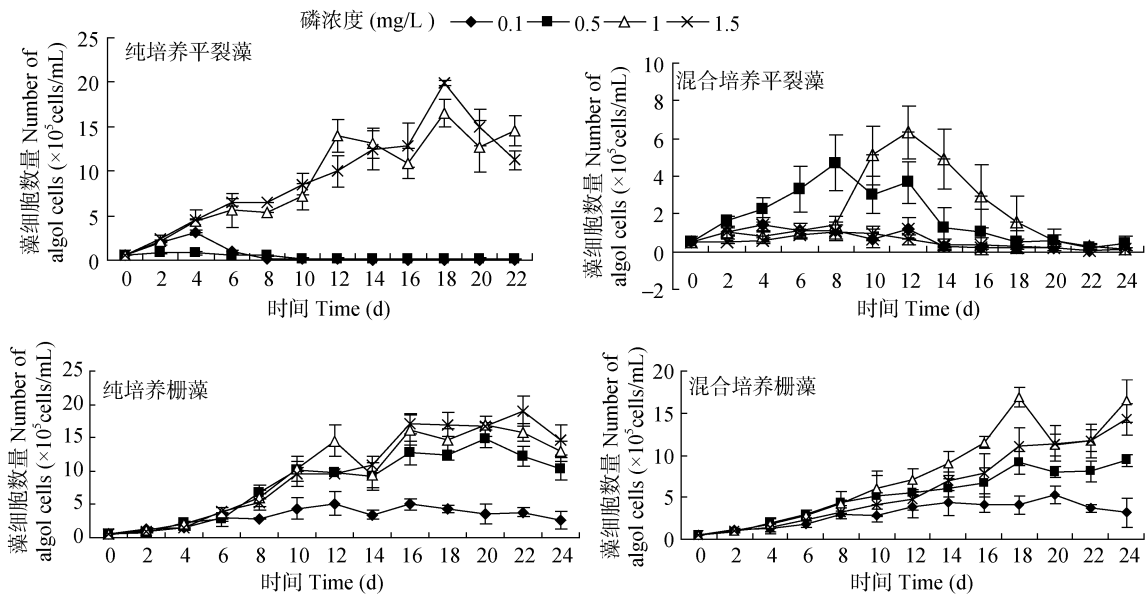


图 3 35℃ 不同营养盐浓度平裂藻和四尾栅藻纯培养组及混合培养组的生长曲线

Fig. 3 The growth curves of *Merismopedia* and *Scenedesmus* in the co-culture and uni-culture systems with nutrients at different concentrations at 35℃

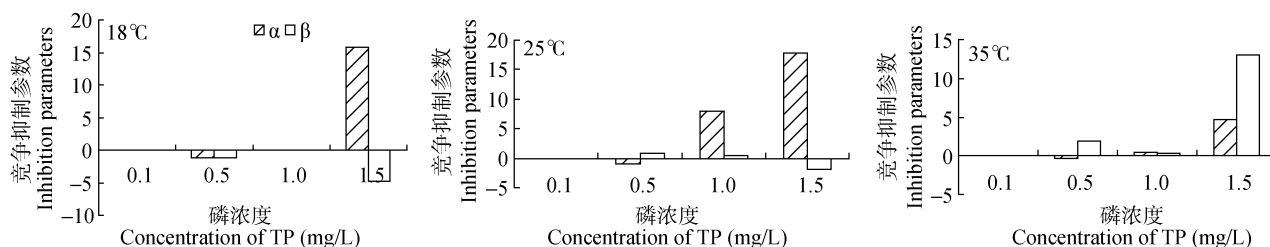


图4 不同温度和营养盐浓度平裂藻和四尾栅藻之间的竞争抑制参数

Fig. 4 The competitive inhibition parameters of *Merismopedia* and *Scenedesmus* at different nutrient concentrations and temperatures

的抑制作用, 且 β 值大于 α 值外, 其余条件下均表现为较小的抑制或促进作用, 说明除 35°C、1.5 mg/L 浓度组外, 平裂藻对栅藻的影响较小。

3 讨论

3.1 营养盐和温度对纯培养体系中平裂藻和四尾栅藻的影响

影响水体浮游植物生长的环境因子很多, 主要有营养盐、温度和光照^[17]。在本试验设定的营养盐和温度范围内, 从平裂藻和四尾栅藻单独培养的试验结果来看, 低营养浓度组(0.1 和 0.5 mg/L)平裂藻在 3 种温度下均停止生长, 表明营养盐是藻类生长的重要物质基础^[18], Liisa Lepistö 和 Ulla Rosenström^[19]报道, 在 TN 为 330 $\mu\text{g/L}$ 、TP 为 5 $\mu\text{g/L}$ 的贫营养环境下平裂藻也能成为优势种, 这与本试验单独培养平裂藻的生长有差异, 其原因还需进一步探索。在较高温度条件下, 1.5 mg/L 组与 1 mg/L 组生长差异不显著, 说明平裂藻有一个比较适宜生长的营养盐浓度范围, 并不是营养盐浓度愈高愈好。此前关于平裂藻温度需求的研究较少, 只有徐彩平等^[7]在对鄱阳湖平裂藻水华研究时发现温度在 20.31—32.10°C 均适宜平裂藻的生长。本研究中高营养盐浓度组(1 和 1.5 mg/L)细胞的最大现存量呈现 25°C > 18°C > 35°C, 说明温度对平裂藻生长的影响要在一定的营养盐浓度的基础上, 且 18°C < 温度值 < 35°C 较适宜平裂藻生长。栅藻在单独培养条件下, 细胞密度总体表现为随着营养盐浓度升高而增加的趋势, 这与郑晓宇等^[20]的报道基本一致。细胞的最大现存量呈现 18°C > 25°C > 35°C, 这之前关于池塘浮游植物的调查结果一致^[11]。

3.2 营养盐和温度对平裂藻和四尾栅藻竞争的影响

不同营养盐水平对藻类的生长及藻间的竞争关系表现出一定的影响^[21]。从竞争参数来看, 在试验

的营养盐和温度范围内, 由于在低营养盐条件(0.1 mg/L)下, 纯培养体系和混合培养体系中平裂藻不能正常生长, 所以其对四尾栅藻的竞争抑制或促进作用较小, 可忽略不计。在高营养盐浓度条件下(平裂藻能够正常生长), 除 35°C、1.5 mg/L 组外, 其对四尾栅藻的竞争抑制或促进作用均小于栅藻对平裂藻的竞争抑制作用, 说明在较低温度或低营养的条件下, 如果藻细胞基数一致的话, 平裂藻对四尾栅藻的生长影响较小。这可能与平裂藻细胞个体小有关, 在营养盐和温度受限制的条件下, 四尾栅藻由于细胞生物量大, 吸收了更多的营养盐, 从而抑制了平裂藻的生长。在 1.5 mg/L 条件下(营养盐不受限制), 平裂藻对栅藻的竞争抑制作用随着温度的升高逐渐由促进作用变为抑制作用, 在 35°C 时, 平裂藻对栅藻的竞争抑制作用大于栅藻对平裂藻的抑制作用, 这与 35°C、1.5 mg/L 混合培养体系中栅藻的细胞最大密度大于纯培养体系中的细胞最大密度的试验结果吻合, 也与之之前关于夏季平裂藻易成为优势种的报道一致。

Margalef^[22]曾提出, 在天然水体中, 对于藻类的季节性演替而言, 环境变化才是最主要的因子, 并不是种间竞争的作用。本试验结果表明, 在温度和营养盐改变的情况下, 平裂藻和栅藻间的竞争抑制能力也会随之改变, 这与晁建颖^[23]的研究结果一致。在本试验条件下, 除 0.5 mg/L 组外, 四尾栅藻均对平裂藻起抑制作用, 且抑制作用呈现随着营养盐浓度的升高而增大的趋势, 说明营养盐在竞争过程中起重要作用。与 35°C 相比, 18 和 25°C 条件下, 栅藻的竞争抑制参数较大, 这也进一步说明 18—25°C 是较适宜四尾栅藻生长的温度, 这与晁建颖^[23]、朱伟等^[12]的研究结果基本一致。因此, 环境温度变化可能是池塘四尾栅藻只在春季和秋季成为优势种的主要原因, 而非藻种之间的竞争。

在本试验的温度范围内,混合培养时 0.5 mg/L 组的两种藻存在相生作用,均优于纯培养体系中的生长情况。根据 Lotka-Volterra 竞争模型的解释,当 $1/K_1 > \alpha_{21}/K_2$ 且 $1/K_2 > \alpha_{12}/K_1$ 时,物种 1 和物种 2 的种内竞争强度都大于种间竞争强度,此时两物种稳定共存。这与孟顺龙等^[1]研究结果相似。另外,朱伟等^[12]发现在营养盐浓度偏低的水体中,蓝藻和绿藻之间可能存在相生作用;在营养盐浓度偏高的水体中,蓝藻和绿藻则表现为相克作用,蓝藻受到绿藻的抑制作用较大,这与本研究的结果一致。

参考文献:

- [1] Meng S L, Qiu L P, Hu G D, et al. Effect of nitrogen and phosphorus ratios on growth and competition of two blue-green algae [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, **31**(7): 1438—1444 [孟顺龙, 裴丽萍, 胡庚东, 等. 氮磷比对两种蓝藻生长及竞争的影响. 农业环境科学学报, 2012, **31**(7): 1438—1444]
- [2] Li J, Cui K, Lu W X, et al. Community dynamics of spring-summer plankton in Lake Chaohu [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(1): 185—192 [李静, 崔凯, 卢文轩, 等. 春季和夏季巢湖浮游生物群落组成及其动态分析. 水生生物学报, 2015, **39**(1): 185—192]
- [3] Wang L Q, Shi R, Ji G H, et al. Phytoplankton community structure and its succession in Dianshan Lake [J]. *Biodiversity Science*, 2011, **19**(1): 48—56 [王丽卿, 施荣, 季高华, 等. 淀山湖浮游植物群落特征及其演替规律. 生物多样性, 2011, **19**(1): 48—56]
- [4] Chen M R, Ouyang H, Han B P. Analysis on eutrophication characteristics of Henggang reservoir [J]. *Ecologic Science*, 2006, **25**(5): 445—449 [陈绵润, 欧阳昊, 韩博平. 横岗水库富营养化特征分析. 生态科学, 2006, **25**(5): 445—449]
- [5] Peng C C, Li Z J, Cao Y C, et al. The community characteristics of planktonic microalgae in Tilapia's culture ponds near the Pearl River Estuary [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, **31**(9): 2019—2030 [彭聪聪, 李卓佳, 曹煜成, 等. 珠江河口区罗非鱼养殖池塘中浮游微藻的群落特征. 农业环境科学学报, 2012, **31**(9): 2019—2030]
- [6] Xia S, Zhang Q, Liu G X, et al. Ecological influences of phytoplankton community in an experimental man-made lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(4): 640—647 [夏爽, 张琪, 刘国祥, 等. 人工试验湖泊浮游藻类群落的生态学研究. 水生生物学报, 2013, **37**(4): 640—647]
- [7] Xu C P, Li S C, Chai W B, et al. A newly recorded cyanobacterial species in water blooms occurred in Lake Poyang—*Merismopedia convoluta* Breb. Kützing [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2012, **24**(4): 643—646 [徐彩平, 李守淳, 柴文波, 等. 鄱阳湖水华蓝藻的一个新记录种——旋折平裂藻(*Merismopedia convoluta* Breb. Kützing). 湖泊科学, 2012, **24**(4): 643—646]
- [8] Zhang Y Z, Tan Y J, Ouyang H. China Pond Pisciculture [M]. Beijing: Science Press. 1989, 66 [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, 66]
- [9] Xie C X. Study on feeding habits of silver carp and bighead carp in pond [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 1989, **8**(4): 385—394 [谢从新. 池养鲢鳙鱼摄食习性的研究. 华中农业大学学报, 1989, **8**(4): 385—394]
- [10] Su L, Zhu C B, Zhang H H, et al. Impact of polycultured tilapia with shrimp on phytoplankton community and the relationship between the composition of phytoplankton dominant species and the growth of tilapia [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, **14**: 101—104 [粟丽, 朱长波, 张汉华, 等. 混养罗非鱼对虾池浮游微藻群落的影响及浮游微藻优势种组成与罗非鱼生长的关系. 广东农业科学, 2011, **14**: 101—104]
- [11] Li X L, Tao L, Zhang S Y, et al. Effects of a New ceramsite ecological floating bed on water quality and phytoplankton in grass carp's culture ponds [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(3): 507—516 [李晓莉, 陶玲, 张世羊, 等. 陶粒浮床对草鱼养殖池塘水质和浮游植物的影响. 水生生物学报, 2015, **39**(3): 507—516]
- [12] Zhu W, Wan L, Zhao L F. Interspecies competition rule of algae under different temperature and nutrient concentration condition [J]. *Ecology and Environment*, 2008, **17**(1): 6—11 [朱伟, 万蕾, 赵联芳. 不同温度和营养盐质量浓度条件下藻类的种间竞争规律. 生态环境, 2008, **17**(1): 6—11]
- [13] Li X L, Li G, Zhang S Y, et al. Effect of recirculating aquaculture system (RAS) on growth performance, body composition and hematological indicators of *Allogynogenetic crucian carp* (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2013, **5**(3): 348—355
- [14] Li X L, Zhang S Y, Tao L, et al. The effects of water exchange rates on water quality and growth performance of crucian carp in a recirculating aquaculture system [J]. *Technology of Water Treatment*, 2012, **38**(12): 85—89 [李晓莉, 张世羊, 陶玲, 等. 基于生物塘处理的不同水交换率对池塘水质及鲫鱼生长的影响. 水处理技术, 2012, **38**(12): 85—89]
- [15] Chen D H, Liu Y D, Yuan J F, et al. Experiments of mixed culture and calculation of competitive parameters between *Microcystis* (Cyanobacteria) and *Scenedesmus* (Green algae) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(6): 908—913 [陈德辉, 刘永定, 袁峻峰, 等. 微囊藻和栅藻共培养实验及其竞争参数的计算. 生态学报, 1999, **19**(6): 908—913]
- [16] Mao H, Xu H, Liu Z P, et al. Effect of initial cell density on population competition between *Skeletonema costatum* and *Chaetoceros curvisetus* [J]. *Marine Environmental Science*, 2008, **27**(5): 458—461 [茅华, 许海, 刘兆普, 等. 不同起始细胞数量对旋链角毛藻和中肋骨条藻种群竞争的影响.

- 海洋环境科学, 2008, 27(5): 458—461]
- [17] Lin S J, Gu J G, Wei P, *et al.* Comparison of ecological characteristics between Gongping Reservoir and Xinhui Lake, Guangdong Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(7): 773—779 [林少君, 顾继光, 魏鹏, 等. 广东省公平水库与星湖生态特征的对比分析. 生态学杂志, 2005, 24(7): 773—779]
- [18] Wang X D, Qin B Q, Gao G, *et al.* Nutrient enrichment and selective predation by zooplankton promote *Microcystis* (Cyanobacteria) bloom formation [J]. *Journal of Plankton Research*, 2010, 32(4): 457—470
- [19] Liisa Lepistö, Ulla Rosenström. The most typical phytoplankton taxa in four types of boreal lakes [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 369/370: 89—97
- [20] Zheng X Y, Gu Y J, Jin Y, *et al.* Study on the growth of *Scenedesmus quadricauda* under different nutrients [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(11): 2663—2668 [郑晓宇, 顾泳洁, 金妍, 等. 不同氮、磷质量浓度下四尾栅藻的生长研究. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2663—2668]
- [21] Burford M A, Johnson S A, Cook A J, *et al.* Correlations between watershed and reservoir characteristics and algal blooms in subtropical reservoirs [J]. *Water Research*, 2007, 41(18): 4105—4114
- [22] Margalef R. External factors and ecosystem stability [J]. *Aquatic Sciences-Research Across Boundaries*, 1975, 37(1): 102—117
- [23] Chao J Y, Yan R R, Zhang Y M. Optimal growth of and competition between *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus* related to temperature [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2011, 27(2): 53—57 [晁建颖, 颜润润, 张毅敏. 不同温度下铜绿微囊藻和斜生栅藻的最佳生长率及竞争作用. 生态与农村环境学报, 2011, 27(2): 53—57]

THE EFFECT OF THE TEMPERATURE AND THE N/P CONCENTRATION ON THE GROWTH AND COMPETITION OF *MERISMOPEDIA* AND *SCENEDESMUS*

LI Xiao-Li, TAO Ling, MAO Meng-Zhe, GOU Qing and LI Gu

(Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China)

Abstract: In order to understand the role of the temperature and the concentration of N and P in the growth of *Merismopedia* and *Scenedesmus*, we carried out the monoculture and co-culture of *Merismopedia* and *Scenedesmus* using BG11 medium in this study. Nutrients at different concentrations were added into the medium and the subjects were cultured at different temperatures. In the monoculture system, *Merismopedia* stopped growing at the test temperatures when the concentration of TP was 0.1 mg/L and 0.5 mg/L, but the growth was normal when the concentration of TP was 1.0 mg/L and 1.5 mg/L. The optimal temperature for the cell growth was 25°C, followed by 35°C and 18°C with TP at various concentrations. The cell density of *Scenedesmus* became higher along with the increase in the concentration of nutrients in the monoculture system, and the optimal temperature for the cell grew was 18°C, followed by 25°C and 35°C with TP at various concentrations. In the co-culture system, *Merismopedia* had little effect on *Scenedesmus* under most conditions, except that the competition ability of *Scenedesmus* was stronger than that of *Merismopedia* when the concentration of TP was 1.5 mg/L at 35°C. *Merismopedia* was seriously affected by *Scenedesmus*, and it was suppressed under most conditions but was promoted when the concentration of TP was 0.5 mg/L.

Key words: Temperature; N and P concentration; *Merismopedia*; *Scenedesmus*; Competition