

Carbon Pressure Driven Cyanobacterial Blooms

Shikai Wu^{1,2}

¹Guangzhou Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou Guangdong

²Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen Guangdong

Email: sk.wu@giat.ac.cn

Received: Jul. 14th, 2016; accepted: Jul. 31st, 2016; published: Aug. 3rd, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The earth is an ecological system; people released carbon source into the atmosphere, then carbon dioxide concentration increased in the ecosystem. So it has brought a series of problems, such as increased global temperature, promoted the global primary productivity, marine phytoplankton blooms, ocean acidification, freshwater algae blooms, and the problems got more and more serious. Competition advantages (and other advantages) of using carbon dioxide, cyanobacteria stand out from the freshwater algae population and grow quickly. So, Carbon pressure is probably the mainly reason that leads to cyanobacteria blooms in global, continuing outbreak.

Keywords

Blue-Green Algae Bloom, Ecosystems, Carbon Pressure, Primary Productivity

碳压力驱动蓝藻爆发

吴世凯^{1,2}

¹广州中国科学院先进技术研究所, 广东 广州

²中国科学院深圳先进技术研究院, 广东 深圳

Email: sk.wu@giat.ac.cn

收稿日期: 2016年7月14日; 录用日期: 2016年7月31日; 发布日期: 2016年8月3日

文章引用: 吴世凯. 碳压力驱动蓝藻爆发[J]. 世界生态学, 2016, 5(3): 25-33.

<http://dx.doi.org/10.12677/ije.2016.53004>

摘要

地球是个生态系统，人们将储存在其中碳源人为大量释放大气中，挑战着这个系统的稳态。于是二氧化碳气体在地球这个大的生态系统中浓度持续增长，而其带来了一系列问题，如提高了全球的气温，提升了全球初级生产力，海洋浮游植物大量繁殖、海洋酸化、全球频繁出现藻类的大爆发现象、而且这些问题在不断加剧中。淡水蓝藻由于具有对二氧化碳竞争利用的优势(还有其它优势)，在淡水藻类群体中脱颖而出，大量生长。所以二氧化碳压力可能是导致蓝藻水华大面积、全球性、持续爆发的主要驱动力。

关键词

蓝藻水华，生态系统，碳压力，初级生产力

1. 引言

为什么蓝藻水华会爆发？蓝藻爆发的原因是到底是什么？在早期研究蓝藻爆发的文章中，分析方法从最初的简单的线性相关到后来的 CCA (典范对应分析)、PCA (主成分分析)等多因子分析方法，研究范围从一个湖泊的长期监测到流域大尺度调查研究，从简单的描述到数学模型，只看到加入的环境变量不断增多，图形越来越复杂，可是到底谁是主要的幕后推手呢，反而越来越不清楚，进入了多元化和模型化的怪圈，无所适从。

结合近些年时常报道的二氧化碳排放、蓝藻爆发、青岛浒苔泛滥、南极冰川融化、海洋生态系统破坏等等这些现象其实很容易发现，这个有着紧密的联系-地球生态系统在宏观上正在发生恶化。这个恶化背后其实都有一个共同推手，就是碳排放，以二氧化碳为主的碳气体增加在悄悄改变着我们这个地球的方方面面，这个看似简单的生态因子在悄悄地干着改变着地球的生态系统的大事。

2. 地球是个大的生态系统

生态系统指在自然界的一定的空间内，生物与环境构成的统一整体，在这个统一整体中，生物与环境之间相互影响、相互制约，并在一定时期内处于相对稳定的动态平衡状态。地球及其包裹的大气层也是个大的生态系统，所以地球生态系统依靠其生源要素保持着一个相对稳定的动态平衡。而当某些要素出现剧烈动荡，可能就会打破现有的动态平衡状态。

随着人类活动的需要，石油、煤、天然气等的碳源的伴随人类的发展被源源不断地从地壳里释放大气中，造成大气二氧化碳浓度的持续升高[1] [2]。

从 1958 年起，气候学家就在美国夏威夷的冒纳罗亚火山上持续测量二氧化碳浓度，测量结果显示，二氧化碳的浓度正在持续上升，而且上升趋势与全球的化石燃料燃烧相关(图 1)。而在 2014 年 4 月的每一天测出的二氧化碳平均浓度，都超过了 400 ppm。这是过去近 100 万年、甚至可能更长的时间里，都未曾发生过的事。

如图 1，我们可以看到，从 1700 年到 1850 年左右，二氧化碳增长还是比较平缓，1850 年到 1960 年左右，增长斜率变大，这个斜率一直持续到 19 世纪 70~80 年代，而此后到至今，二氧化碳增长的斜率明显高于之前，说明这个阶段二氧化碳浓度有加速升高的态势，进一步讲，这个加速升高意味着地球生态系统调控能力的减弱，在向另一个状态过渡。而另一个状态是不是稳定也不得而知，但二氧化碳浓度的提升后的一个效应就是气温的持续升高[3]。

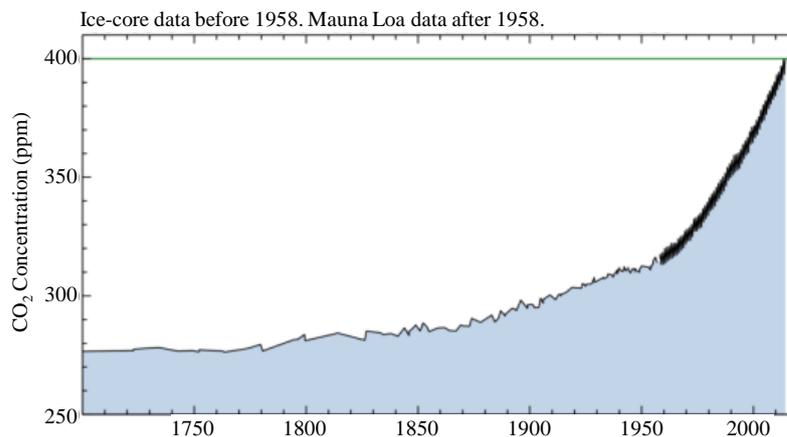


Image: Scripps Institution of Oceanography, University of California-San Diego

引自: http://www.slate.com/blogs/future_tense/2014/05/01/

Figure 1. CO₂ concentration in the atmosphere

图 1. 大气中二氧化碳变动

3. 海洋发生了什么

海洋对 CO₂ 的作用宏观表现是汇，至少目前如此[4] [5]。但是海洋的容纳能力是无穷么？

在海洋中，碳循环过程可以分为两个子循环过程，首先，在混合层内存在光合氧化过程。这是因为表层海水中的浮游植物能够吸收二氧化碳，并在光的作用下生产有机物，但这些生物寿命很短，死亡很快，于是腐败氧化，放出二氧化碳，使表层海水中二氧化碳经常处于过饱和状态。另外，这些死亡生物还有一小部分会下沉到海水深处，在深海中腐败氧化，这一循环过程对大气二氧化碳的贡献目前还不清楚。另一个循环过程是含钙的有机物在深海中溶解为碳酸盐，其中一部分又在高纬度地区通过海水涌升回到表层海水中来，上述两个循环都是不闭合的[1]。

王明星通过计算得知，仅由海水中碳酸盐系统对大气 CO₂ 含量增加的缓冲能力是很有限的。计算结果表明，如果大气中 CO₂ 含量持当前速率以指数形式稳定增长，至 2050 年，即使达到平衡，海水碳酸盐系统仅能容纳约亿吨 CO₂，远低于当前人类使用矿物燃料向大气排放 CO₂ 量的 40% [1]。而更早的研究认为，从 1800 年到 1994 年，海洋吸收了人类活动(例如燃烧木材，煤炭，石油或天然气)所排放的二氧化碳总量的 48% [6]。所以海水碳酸盐系统的减弱是海洋吸收二氧化碳能力正在衰退[7] [8]。而南大洋近期局部的碳沉降的增加也是对碳压力不断增加的一种被动调整[9]。

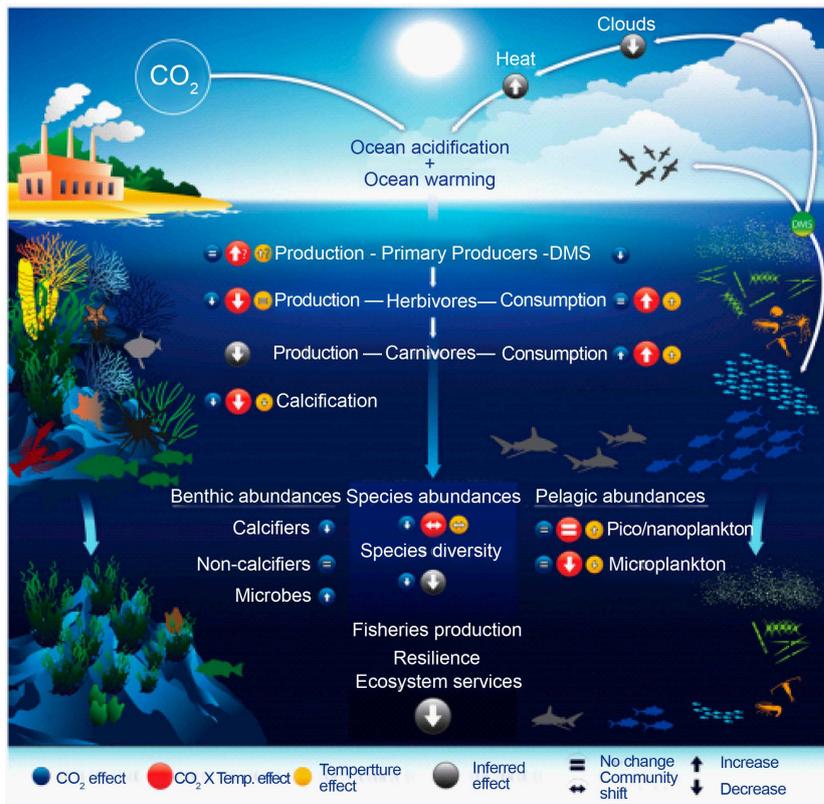
其实，除了海洋浮游植物生产力增加外，大型海藻生产力也在增加(图 2)。类似的现象发生在中国的青岛和海南海岸线上，我们不清楚这些海藻的来源地在哪儿，只看到一年年的增多。

另一方面，持续增长的碳压力是海洋酸化问题逐渐严重，海洋生态系统也不再不断恶化。Ivan Nagelkerken 对 623 项已发表的实验数据进行分析，这些实验覆盖了从热带到北极的多个水域，涵盖了从珊瑚礁、大型褐藻林到开放海洋多种生态系统(图 3) [10]。研究结果表明二氧化碳排放造成的海洋酸化与变暖预计将提高海洋初级生产力，主要是海洋浮游植物大量增加，但这通常不能转化为二级生产(浮游动物和较小鱼类)，这表明在海洋酸化情况下海洋食物产量会降低。而 Ivan 则指出，在更温暖的水中海洋动物的代谢率也更高，需要更多食物，而食肉动物可得到的食物却更少，因此从食物链顶端向下很可能会发生物种崩溃(图 3)。



法国北布列塔尼海岸边的海藻。在北布列塔尼地区，大约有70 多处海滩，都淹没于一望无际的海藻之下。十几年来，这些散发着腐臭味海藻对当地海岸线环境造成了极大影响。引自：<http://news.163.com/10/1101/11/6KDB7HF600014AED.html>

Figure 2. Seaweed in France coast
图 2. 法国岸边海藻



引自: Ivan Nagelkerken *et al.* 2015

Figure 3. Carbon pressure lead to Marine ecosystem changes
图 3. 碳压力导致海洋生态系统变化

即，对于食物链系统，浮游植物和降解浮游植物的微生物一链得到加强，而其捕食者甚至更高等级的捕食者一链弱化，捕食者一链弱化宏观表现就是海洋渔业产量的不断下降，这对沿海居民和那些依赖海洋食物和贸易的人们影响巨大。如图 4，珊瑚礁的大量死亡仅仅是这个变化的一个缩影。

这也是海洋生态系统对碳压力的被动适应的结果。

4. 淡水中发生了什么

二氧化碳的升高虽然客观上提高了全球的初级生产力，也应该包括陆地植被的初级生产力[11]。但是宏观研究结果却让人大跌眼镜，将海洋中储存的二氧化碳和大气中的二氧化碳相加时，其总和却超过了人类活动排放的二氧化碳总量[5] [12]。经过仔细分析，研究认为“多余的”二氧化碳来自于土地利用的变化，如森林采伐等。这表明，在 1800 年~1994 年这段时间内，陆地生物圈已经成为二氧化碳的净产生源，而非储存器[6] [12]。

另一方面，CO₂ 的升高给了淡水藻类提供了一个筛选条件，凡是对 CO₂ 利用效率高的生物就大肆生长。经常看到一些水生植物或藻类爆发的报道，如凤眼莲(水葫芦)(图 5)，水浮莲(水白菜)(图 6)，蓝藻等[13]-[15]。这类现象表现是只要此类植物水体适合生长，利用二氧化碳的优势往往让该植物迅速占据优势。计算发现，只要条件允许，单株凤眼莲 1 年可以产生 1.4×10^8 棵分株，鲜重可达 2.8×10^4 吨，这与其极强的固定二氧化碳能力密不可分[16] [17]。

5. 为什么是蓝藻总是脱颖而出

蓝藻水华备受重视的一个重要原因是某些蓝藻产毒(其中微囊藻毒素最为常见)，微囊藻毒素由于对人体有直接的危害而受到重视和广泛研究[15]。而淡水藻类众多，为什么偏偏蓝藻经常占据优势？这和它产毒关系不大，但与二氧化碳固定关系密切。蓝藻的生理学研究发现，蓝藻有利用 CO₂ 的优势，1) 类胡萝卜素。伴随着微囊藻水华的爆发，研究发现细胞内类胡萝卜素：叶绿素比率也在同步增加，使之在近紫外光强下(PAR 400~550 nm)也能保持较高的光合作用效率和二氧化碳固定效率[18]，此外，蓝藻还能产生一些屏蔽紫外线辐射的物质如三苯甲咪唑类氨基酸(MAAs)和伪枝藻酸(Scytonemin)等，也就在紫外线强烈的夏季比其它浮游植物类群有更大的生存空间[19]。2) 胞内伪空泡。蓝藻由于具备了伪空泡从而实现了在水环境中的自主升降，趋利避害[20]。最终也提高了对二氧化碳的固定效率。这些优势也使得蓝藻在和相似生态位上的绿藻和硅藻竞争中占据优势。

从宏观看，全球二氧化碳升高，以及由此导致的气温升高、极端天气发生概率的增加所导致的水体营养盐增加都直接促进了蓝藻的生长[19]。当然，从中观生态学角度讲，人类污染物向水体中的排放也直接促进了蓝藻的爆发，加速了湖泊的富营养化进程。正是这些内部原因和外部条件一起，导致了蓝藻的爆发和持续。

所以，我们从长江中下游湖泊群的调查中看到，长江中下游湖泊群蓝藻均有分布，且蓝藻在夏季绝大多数湖泊中占优势[21]。而从蓝藻所占比例随水体营养水平变化看(图 7)，在水体营养水平较低一直到总磷 0.1 左右的时候，蓝藻比例急剧上升，其斜率可以反映其较之其它浮游植物类群的明显的竞争优势[22]。另外，所研究湖泊水环境主要分布在总磷 $\log-0.5 \sim \log-2.0$ (0.01 mg/L~0.316 mg/L)之间，正是蓝藻占据优势的区间，所以我们常常看到长江中下游湖泊中蓝藻问题十分突出。

6. 对策与展望

随着人类活动，人们对能源的需求不断加大，更多的碳源将被带到地表或大气中，慢慢地改变着这个星球的原有的生态平衡。在二氧化碳逐渐升高的过程中，我们看到了这个增长出现了加速的趋势，这



本图显示了苏门答腊珊瑚礁的漂白变化情况：左图是漂白前的情景，右图是漂白后的情景。由于气候的变化和海水升温，导致南亚和印度洋的珊瑚礁在十多年内大量死于糟糕的漂白效应。漂白效应是由于温度较高的海水导致海藻离开珊瑚礁所形成的现象。引自：
<http://news.163.com/10/1101/11/6KDB7HF600014AED.html>

Figure 4. Sumatra coral bleaching

图 4. 苏门答腊珊瑚礁漂白



2015年10月8日，上海，环卫工人在苏州河上打捞和拦截水葫芦。近日，苏州河水域出现大量水葫芦入侵，为近年罕见。苏州河上的水葫芦打捞船和作业人员较平时增加了50%，全天水葫芦打捞量达到515吨，是去年同期日平均打捞量的10倍左右。引自：
<http://finance.china.com.cn/industry/photo/20151010/12165.shtml?pic=5>

Figure 5. Water Hyacinth invasion Suzhou River

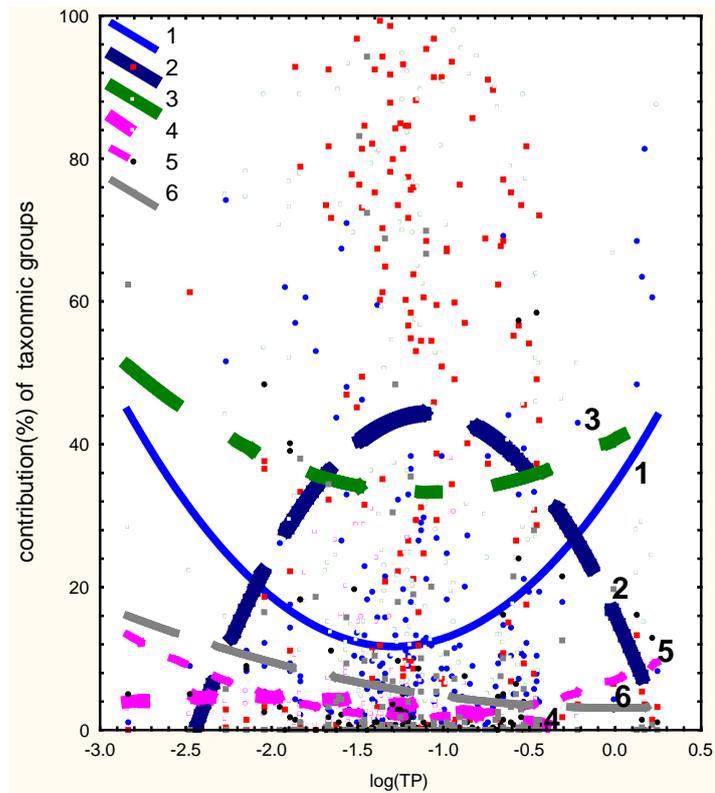
图 5. 苏州河水域出现大量水葫芦入侵



水白菜覆盖清水江上80公里水面，已造成300户渔民受损约上亿元。引自：
http://www.gywb.cn/content/2014-09/27/content_1504554.htm

Figure 6. Water lettuce invasion Qingshui River

图 6. 铺满水白菜的清水江



引自: [22]

Figure 7. The phytoplankton group proportion change with total phosphorus in summer. 1 Chlorophyta; 2 Cyanobacteria; 3 Bacillariophyta; 4 Pyrrophyta; 5 Cryptophyta; 6 Euglenophyta

图 7. 各浮游植物类群占夏季浮游植物总生物量的比例随总磷变化。
 1 绿藻; 2 蓝藻; 3 硅藻; 4 甲藻; 5 隐藻; 6 裸藻

个趋势需要引起重视, 因为加速意味着原有生态系统状态已经不能有效控制或吸纳这个增加, 意味着生态系统在转变的过程中。

地表植被并没有预期的那样对这个增长予以吸纳, 宏观上陆地反而在释放二氧化碳, 这也与人们大肆砍伐, 破坏树林等植被有着密切关系。我们寄希望于广袤的海洋, 然而海洋对二氧化碳的吸纳也不是无穷尽的, 也是有代价的, 海洋酸化、原有生态系统逐渐解体等。

蓝藻问题也是如此, 只是因为部分蓝藻有产毒能力而受到格外的重视。

在这个已经过量的碳压下, 淡水藻中的蓝藻一旦符合其爆发的基本条件就会迅速生长, 占据优势。而所谓的这些基本条件就如温度、磷、氮、食物网、光等等, 而积极生长的结果就是蓝藻长期持续的发生。

所以, 从根本上来讲, 还是人类对煤炭石油天然气资源的过渡开采和利用, 减少对这些资源的开采和使用, 同时大力发展碳源回收相关技术, 减少污染物向水体的排放将是解决这些问题的必然出路。

基金项目

深圳市技术创新计划技术开发项目[20140424111431]和广东省科技计划项目[2013B091300015]和[2016A020222021]资助。

参考文献 (References)

- [1] 王明星, 曾庆存. 大气中的二氧化碳含量[J]. 大气科学, 1986(2): 212-219.
- [2] 南觉夫. 二氧化碳在地球表层的循环[J]. 世界环境, 1990(2): 9-11.
- [3] Bala, R., Joseph, R., Michael, T. and Noah, S.D. (2015) Debunking the Climate Hiatus. *Climatic Change*, **133**, 129-140. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-015-1495-y>
- [4] 王水辰. 二氧化碳含量变化对海水碳酸盐系统的影响 1. 大气 CO₂ 含量变化及海水碳酸盐系统缓冲能力探讨[J]. 青岛海洋大学学报, 1995(3): 331-337.
- [5] 吴艾笙. 大气中一半的二氧化碳消失到哪里去了? 高原气象, 1999, 18(3): 462-464.
- [6] Thomas, J.G. and William, Z.D. (1988) Tropical Deforestation: Some Effects on Atmospheric Chemistry. *AMB*, 275-281.
- [7] Michael, R. and John, C. (2009) Climate Change Poised to Feed on Itself. *Federal Politics*, 1. <http://www.smh.com.au/federal-politics/climate-change-poised-to-feed-on-itself-20090731-e4gi.html?page=-1>
- [8] 顾臻. 海洋吸收二氧化碳能力正在衰退[J]. 海洋与渔业, 2014(11): 53.
- [9] Mikaloff-Fletcher, S.E. (2015) An Increasing Carbon Sink? *Science*, **349**, 1165. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aad0912>
- [10] Ivan, N. and Sean, D.C. (2015) Global Alteration of Ocean Ecosystem Functioning Due to Increasing Human CO₂ Emissions. *PNAS*, **112**, 13272-13277. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1510856112>
- [11] Chu, C.J., Megan, B., Wang, Y.S., He, F., Weiner, J., Chave, J. and Sack, L. (2016) Does Climate Directly Influence NPP Globally? *Global Change Biology*, **22**, 12. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13079>
- [12] Peter, N.S. (2004) Oceans to Acid. *The Christian Science Monitor*, 9.
- [13] 王润佳, 高世铭, 张绪成. 高大气 CO₂ 浓度下 C3 植物叶片水分利用效率升高的研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2010(6): 190-195.
- [14] Paerl, H.W. and Ustach, J.F. (1982) Blue-Green Algal Scums: An Explanation for Their Occurrence during Freshwater Blooms. *Limnology and Oceanography*, **27**, 212-217. <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1982.27.2.0212>
- [15] 谢平. 蓝藻水华及其次生危害[J]. 水生态学杂志, 2015, 36(4): 1-13.
- [16] 李霞, 丛伟, 任承钢, 盛婧, 朱普平, 郑建初, 严少华. 太湖人工种养凤眼莲的光合生产力及其碳汇潜力分析[J]. 江苏农业学报, 2011(3): 500-504.
- [17] 李学宝, 何光源, 吴振斌, 夏宜. 凤眼莲、水花生若干光合作用参数与酶类的研究[J]. 水生生物学报, 1995(4): 333-337.

- [18] Paerl, H.W., Tucker, J. and Bland, P.T. (1983) Carotenoid Enhancement and Its Role in Maintaining Blue-Green Algal (*Microcystis aeruginosa*) Surface Blooms. *Limnology and Oceanography*, **28**, 847-857.
<http://dx.doi.org/10.4319/lo.1983.28.5.0847>
- [19] 沈强, 胡菊香. 全球气候变化下的长江流域蓝藻水华暴发趋势[J]. 河海大学学报, 2010, 38(2): 350-351.
- [20] Craig, N.S. and Darrell, L.K. (1987) Regulation of Blue-Green Algal Buoyancy and Bloom Formation by Light, Inorganic Nitrogen, CO₂, and Trophic Level Interactions. *Hydrobiologia*, **144**, 183-192.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00014531>
- [21] 吴世凯, 谢平, 倪乐意, 王松波, 徐军, 陈步丹. 长江中下游地区湖泊中蓝藻及其与氮磷浓度的关系[J]. 水生态学杂志, 2014(3): 19-25.
- [22] 吴世凯, 谢平, 倪乐意, 张琳. 氮磷比对长江中下游地区浅水湖泊群浮游植物类群的影响[J]. 集成技术, 2015, 4(6): 15-25.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>