

蓝藻群体形成的影响因素研究进展

许慧萍, 周 健, 杨桂军, 王 颖, 张艳晴

(江南大学环境与土木工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要:水体富营养化问题是我国乃至全世界严重的水环境问题,由此而产生的蓝藻水华引起了人们的密切关注。掌握蓝藻水华发生机理是控制蓝藻水华的关键因素之一。综述了生物因子以及非生物因子对蓝藻群体形成的影响,以进一步揭示蓝藻水华形成的机理,在蓝藻水华防治方面具有一定的现实意义。

关键词:蓝藻群体形成;浮游动物;胞外多聚糖

中图分类号:Q949.22

文献标识码:A

文章编号:1004-874X(2012)12-0194-03

Advances on influencing factors of the cyanobacteria colony formation

XU Hui-ping, ZHOU Jian, YANG Gui-jun, WANG Ying, ZHANG Yan-qing

(School of Environmental and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The eutrophication has become severe water problem in China and even in the whole world, so people pay more attention to the algae bloom. Understanding mechanism of cyanobacteria bloom breakout is one of the key factors of controlling cyanobacteria. This article reviewed the influences including the biological factors and non biological factors on cyanobacterial colony formation. It is helpful for revealing the mechanism of the formation of cyanobacteria bloom. Also, it is practical significance in controlling blue algae bloom and control cyanobacteria bloom more effectively.

Key words: cyanobacteria colony formation; zooplankton; extracellular polysaccharides

水体富营养化是目前世界各国普遍面临的水质问题^[1],我国目前有 66%以上的湖泊、水库处于富营养化水平^[2]。伴随富营养化而产生的各种环境和生态问题也日渐受到人们的关注,其中以蓝藻水华所带来的危害最为严重^[3]。蓝藻水华形成的机理研究是其防治的基础,对于科学预测湖泊中蓝藻水华的产生,并采取相应措施减少其带来的影响具有重要的生态和环境意义。目前,相关机理研究已有很多,但大多数局限于单个体细胞的研究。然而在野外状态下的蓝藻多以群体形式存在,但采集回来的蓝藻经分离纯化并转入室内培养一段时间后,其群体形态消失,转变为单细胞^[4-5]和二细胞。如果在室内模拟自然条件下研究蓝藻单细胞形成群体,并逐步成为湖泊水生生态系统中的优势种乃至形成水华的过程,将为蓝藻水华预警和治理提供科学依据,但目前为止,室内还无法模拟出与野外类似的蓝藻水华。因此只有加强对蓝藻群体及其群体形成机理的研究才有可能逐步弄清蓝藻水华的形成机制,并对其发生的每一进程进行预测,寻求更加具有针对性的控制措施。

影响蓝藻群体形成的因素有很多,也有许多学者研究了不同因素对蓝藻群体形成的影响^[6]。为探索富营养化湖泊中对于蓝藻群体形成的各种诱导因素,本文综述了生物因子与非生物因子对蓝藻群体形成的影响,包括浮游动物的捕食作用等对蓝藻群体形成的诱导效应,营养盐、光照等其他因素对蓝藻胞外多聚糖分泌的影响等,以期从本质上进一步揭示蓝藻群体的形成机理,进一步了解蓝藻水华

的产生过程,加强目前蓝藻水华暴发的防治工作。

1 生物因子对蓝藻群体形成的影响

1.1 浮游动物

20 世纪后期,前苏联的 Mikheeva 等^[7]以及 Lampert 等^[8]就发现在植食性浮游动物存在的条件下,栅藻(*Scenedesmus*)可以形成群体。Burkert 等^[9]在透析隔膜试验中,发现当有鞭毛虫(*Flagellate*)存在时铜绿微囊藻会聚合形成几十乃至几百个细胞的群体。随后 Jang 等^[10]等也证实,当铜绿微囊藻与大型蚤(*Daphnia magna*)、蚤状蚤(*Daphnia pulex*)及多刺裸腹蚤(*Moina*)3 种浮游动物共同培养时,能诱导群体形成。扬州等^[11]研究发现,用冬季太湖底泥培养滤液培养的铜绿微囊藻单细胞,最终能形成 30~60 个细胞的群体。而单个丝状水华束丝藻(*Ulothrix*)在有蚤状蚤存在时会呈现薄片状的群体^[12-13]。

对于浮游动物是如何诱导蓝藻形成群体的,许多学者开展了一系列试验^[14-15]。阳振^[6]研究发现,当投加了用铜绿微囊藻喂养的鞭毛虫滤液培养的单个体铜绿微囊藻时,微囊藻出现群体,而利用麦粒液和小球藻喂养的滤液对铜绿微囊藻的群体聚集均没有影响,仍表现为单个体或双细胞,他认为只有在捕食微囊藻后才会释放出一种化学物质诱发蓝藻群体形成。有研究^[16-19]认为,蓝藻与浮游动物相互作用时才能产生这种物质诱导蓝藻群体形成,也就是说诱发栅藻形成群体的是牧食性浮游动物在摄食消化过程中释放的化学信息物质^[20-21]。

1.2 其他生物因素

水生植物能够释放出一种化感物质抑制蓝藻生长,该种物质能够通过降低叶绿素 a 含量破坏光合系统 II,使细胞膜结构裂解,酶活改变,抗氧化系统破坏,细胞膜内超微结构受损,基因表达异常,进而抑制藻细胞的分裂或直接杀死藻细胞^[22]。但是这种化感物质对蓝藻细胞群体的形成

收稿日期:2012-04-12

基金项目:国家自然科学基金(41101053);湖泊与环境国家重点实验室开放基金(2008SKL012)

作者简介:许慧萍(1988-),女,在读硕士生,E-mail:xuhuiping89@163.com

通讯作者:杨桂军(1979-),男,博士,副教授,E-mail:yanggj1979@163.com

存在的影响仍需作进一步的研究论证。

2 非生物因子对蓝藻群体形成的影响

具有粘性的胞外多聚糖对藻细胞的聚集有较大影响,胞外多聚糖含量增高时,其细胞表面粘性增强,更易于聚集形成群体^[23-26]。也就是说,能够影响胞外多聚糖含量的因素也可能影响蓝藻群体的形成^[27-29]。

2.1 营养盐对胞外多糖产生的影响

研究发现,栅藻在富营养湖泊中多以群体形态存在,而在贫营养湖泊中则以单细胞存在^[30-31],也就是说,营养盐制约其群体的形成。有研究证实,相对的磷限制或氮限制或碳过量(即较高的 C/N 或 C/P)能促进一些藻类或细菌胞外多聚糖的分泌,可能有助于细胞的聚合。Otero 等^[32-33]发现,在氮限制或碳过饱和,即不平衡的高 C/N 下,念珠藻(*Nostoc*)可产生更多的胞外多聚糖,而在含氮丰富的培养基中,念珠藻的胞外多聚糖产量很低。Moreno 等^[34]发现鱼腥藻(*Anabaena sp.*)胞外多聚糖产量与培养基中氮的总量呈现负相关关系。在高的 C/N 或 C/P 条件下,光合作用固定的有机物质主要以不含氮磷的碳水化合物形式存在,此时胞内碳水化合物过量累积并释放到细胞外,从而导致胞外多聚糖的产量显著提高^[35-36],而胞外多聚糖含量的提高为诱发细胞之间的粘附聚集成群体提供了可能。

2.2 光照及温度对胞外多糖产生的影响

光照对藻类的多聚糖产量也存在影响^[37],Moreno 等^[34]发现一定的光照强度范围内,随着光强的增高,鱼腥藻胞外多聚糖的产量增加。Koblizek 等^[38]将生长在低光照条件下的细长聚球藻(*Synechococcus elongates*)移到强光下后,发现藻细胞逐渐聚集成团,不同的光对其聚集效果影响也不同。Otero 等^[32]发现,高光强能促进碳水化合物的生产和胞外多聚糖的合成;随着光照时间的延长产羟葡萄糖胞外多聚糖产量也相应地增加^[16]。也有研究证实,温度对蓝藻多聚糖形成有一定的影响。Lupi 等^[39]在研究温度对产羟葡萄糖藻生长和胞外多聚糖生物合成的影响时,发现胞外多聚糖的产量严重依赖于生长温度,而温度对鱼腥藻胞外多聚糖的释放也存在一定的影响。

2.3 其他非生物因素

除了上述因素对蓝藻胞外多聚糖的产生有一定影响外,还有其他一些非生物因素影响了蓝藻群体的形成,如风力等。颜润润等^[40]研究了不同培养条件下扰动对两种淡水藻生长的影响,发现在一定强度范围内,较小的扰动有利于细胞群体的聚集。张毅敏等^[41]研究发现,水动力因素对蓝藻的生长及聚集有较大影响。另外,水力停留时间对蓝藻的生长也存在一定的影响,但其对蓝藻群体聚集存在的影响仍然需要作进一步的证实。

3 生物因素与非生物因素的综合作用

单因素对蓝藻群体形成的影响研究已经有很多,但是各个因素的综合作用研究还很少。汪伟^[42]在研究非生物因素与生物因素对微囊藻生长、多聚糖含量以及表型变化的试验中发现,在不同氮磷营养盐浓度培养的铜绿微囊藻添加鞭毛虫后,铜绿微囊藻出现群体,对照组均未出现

群体,且氮浓度越低群体细胞数越多,因此较低的氮浓度与鞭毛虫能更好地促进微囊藻形成群体。

4 结语

水体富营养化是目前严重影响我国水体的一大难题,由此而产生的蓝藻水华也是近年来大多数学者关注的热点问题。蓝藻水华暴发是受多方因素影响的。解决蓝藻水华暴发的难题必须了解蓝藻水华暴发的机理,以及诱发蓝藻水华暴发的因子,尤其是限制因子。在实验室很难精确模拟出自然环境,如浮游动物的摄食作用等生物因素,以及光照、温度等非生物因素,因此蓝藻在实验室条件下很难形成类似于野外的大群体,这无疑制约了我们对蓝藻群体形成机理的研究。

浮游动物的捕食作用诱导蓝藻群体形成,这在生态学基础上很有可能是蓝藻的一种防御机制,浮游动物所能摄食的最大食物颗粒取决于其体积的大小,为了抵御被捕食,蓝藻会形成更大的群体以延续种群的健康和生存发展。但是水生植物的化感作用以及鱼类的捕食作用对蓝藻群体形成是否具有促进作用还有待进一步研究。非生物因素中关于营养盐方面因素对蓝藻体内包括胞内多聚糖、固着性胞外多聚糖和溶解性胞外多聚糖在内的所有碳水化合物组分合成与分泌存在一定的影响,而多聚糖含量的多少及组成也必然会对蓝藻细胞间的接触附着作用及其大群体的形成产生一定影响。非生物因素中光照、温度、风力等因素也影响了蓝藻的胞外多聚糖合成,其中已经有相关的学者和专家在研究中已经证实营养盐浓度、光照强度和温度对微囊藻群体形成的协同作用随时间的推移能够显著提高蓝藻种群形成的几率。此外,风力因素的影响也不可忽略,水体表面及浅层湖水中的蓝藻在风力因素的影响下被集中到一定的区域中,对蓝藻群体的形成也必将会产生一定的促进作用,这些都有可能影响蓝藻群体的形成。

在实验室条件下模拟自然环境中各种诱导因素对蓝藻种群形成的影响具有重要意义,这必然会对蓝藻水华的研究产生积极的推动作用。蓝藻群体形成的机理及其影响因素的研究对于寻求更加具有针对性的控制措施,尽量减少由于蓝藻水华导致的水质恶化带来的经济与社会危害也有重要的生态和经济价值。如果能够在实验室中培养出类似于野外的蓝藻大群体,在此基础上进行研究将会获得更好的效果,也会更具有说服力。因此我们需要更多的努力来探究诸多因素对蓝藻群体形成的影响。只有从本质上掌握了蓝藻群体形成的机理,才能够切实有效地找出蓝藻水华的控制办法。

参考文献:

- [1] OECD.Eutrophication of Waters [R]. Monitoring, Assessment and Control. Final Report, OECD Cooperative Program on Monitoring of Inland Waters (Eutrophication Control), Environment Directorate,OECD,Paris,1982:154.
- [2] 2010 年中国环境状况公报[R].环境保护部,2010:1-81.
- [3] Dokulil M T, Teubner K. Cyanobacterial dominance in eutrophic lakes Causes Consequences Solutions [J].Lake Sci, 1998,10:357-370.

- [4] Bolch C J S, Blackburn S I. Isolation and purification of Australian isolates of the toxic cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* Kutz[J]. *Journal of Applied Phycology*, 1996, 8:5-13.
- [5] Lürling M, van Donk E. Grazer-induced colony formation in *Scenedesmus acutus* (Chlorophyceae): Ecomorph expression at different temperatures[J]. *Journal of Phycology*, 1999, 35: 1120-1126.
- [6] 阳振.微囊藻群体形成的驱动因子研究[D].南京:中国科学院南京地理与湖泊研究所, 2010:1-124.
- [7] Mikheeva T M, Kruchkova H M. Morphological changes in *Chlamydomonas* and *Scenedesmus acuminatus* in the presence of zooplankton[J]. *Botanica*, 1980, 5:60-63.
- [8] Lampert W, Rothhaupt K O, Von Elert E. Chemical induction of colony formation in green-alga (*Scenedesmus acutus*) by grazers (*Daphnia*) [J]. *Limnology and Oceanography*, 1994, 39(7): 1543-1550.
- [9] Burkert U, Hyenstrand P, Drakare S, et al. Effects of the mixotrophic flagellate *Ochromonas* ssp. on colony formation in *Microcystis aeruginosa* [J]. *Aquatic Ecology*, 2001, 35:9-17.
- [10] Jang M H, Ha K, Joo G J, et al. Toxin production of cyanobacteria is increased by exposure to zooplankton [J]. *Freshwater Biology*, 2003, 48:1540-1550.
- [11] 扬州,孔繁翔.浮游动物诱发藻类形成群体[J]. *生态学*, 2005, 25(8): 2083-2089.
- [12] Lynch M. Aphanizomenon blooms: Alternate control and cultivation by *Daphnia pulex*. In Kerfoot W C (ed). *Evolution and ecology of zooplankton communities* [J]. University Press of New England, Hanover, 1980:299-304.
- [13] Holm N P, Ganf G G, Shapiro J. Feeding and assimilation rates of *Daphnia pulex* fed *Aphanizomenon flos-aqua* [J]. *Limnology and Oceanography*, 1983, 28: 677-687.
- [14] Yasumoto M, Ooi T, Takenori K, et al. Characterization of *Daphnia* kairomone inducing morphological change of green alga *Actinastrum* sp [J]. *Tennen Yuki Kagobutsu Toronkai Keon Yoshishu* 2000, 42:385-390.
- [15] Van Holthoorn F L, van Beek T A, Lürling M, et al. Colony formation in *Scenedesmus*: a literature overview and further steps towards the chemical characterisation of the *Daphnia* kairomone[J]. *Hydrobiologia*, 2003, 491:241-254.
- [16] Lupi F M, Fernandes H M L, Tom M M, et al. Influence of nitrogen source and photoperiod on exopolysaccharide synthesis by the micro alga *Botryococcus braunii* UC 58 [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 1994, 16: 546-550.
- [17] Lürling M. Effect of grazing-associated infochemicals on growth and morphological development in *Scenedesmus acutus* Meyen (*Chlorophyceae*) [J]. *Journal of Phycology*, 1998, 34:578-586.
- [18] Lürling M, von Elert E. Colony formation in *Scenedesmus*: no contribution of urea in induction by a lipophilic *Daphnia* exudate [J]. *Limnology and Oceanography*, 2001, 46:1809-1813.
- [19] von Elert E, Franck A. Colony formation in *Scenedesmus*: grazer-mediated release and chemical feature of the infochemical [J]. *Journal of Plankton Research*, 1999, 21:789-804.
- [20] von Elert E. Fatty acids released by *Daphnia*: do they induce colony formation in *Scenedesmus acutus* [J]. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, 2000, 27: 2128-2131.
- [21] Lass S, Spaak P. Chemically induced anti-predator defences in plankton: a review [J]. *Hydrobiologia*, 2003, 491: 221-239.
- [22] 胡光济,侯浩波,张维昊,等.淡水高等水生植物对浮游藻类化感作用评述[J]. *安全与环境工程*, 2010, 11(4):3-6.
- [23] 扬州.蓝藻对浮游动物牧食压力的响应[D].南京:中国科学院南京地理与湖泊研究所, 2006.
- [24] Pajdak-Stos A, Fialkowska E, Fyda J. P. *hormidium* autumnale (*Cyanobacteria*) defense against three ciliate grazer species [J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2001, 23:237-244.
- [25] Thornton, D O. Diatom aggregation in the sea: mechanisms and ecological implications [J]. *Phycol*, 2002, 37: 149-161.
- [26] 扬州,李佳佳.非生物因素对藻类胞外多糖含量影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(1):198-202.
- [27] Wustman B A, Gretz M R, Hoagland K D. Extracellular matrix assembly in diatom (*Bacillariophyceae*) I. A model of adhesives based on chemical characterization and localization of polysaccharides from the marine diatom *Achnanthes longipes* and other diatoms [J]. *Plant Physiol*, 1997, 113:1059-1069.
- [28] De Philippis R, Vincenzini M. Exocellular polysaccharides from cyanobacteria and their possible applications [J]. *FEMS Microbiol Rev*, 1998, 22:151-175.
- [29] Van Rijssel M, Janse I, Noordkamp D J B, et al. An inventory of factors that effect polysaccharide production by *Phaeocystis globosa* [J]. *Sea Res*, 2000, 43:297-306.
- [30] Mattoni R, Keller E, Myrick H. A means to a beginning. *Bioscience* [J]. *Industrial photosynthesis*, 1965, 15: 403-407.
- [31] Siver P, Trainor F R. Morphological control and physiology of *Scenedesmus* strain 170 [J]. *Phycologia*, 1981, 20: 1-11.
- [32] Otero A, Vincenzini M. Extracellular polysaccharide synthesis is by *Nostoc* strains as affected by N source and light intensity [J]. *Journal of Biotechnology*, 2003, 102:143-152.
- [33] Otero A, Vincenzini M. *Nostoc (Cyanophyceae)* goes nude: Extracellular polysaccharides serve as a sink for reducing power under unbalanced C/N metabolism [J]. *Journal of Phycology*, 2004, 40:74-81.
- [34] Moreno J, Vargas M A, Olivares H, et al. Exopolysaccharide production by the cyanobacterium *Anabaena* sp. ATCC 33047 in batch and continuous culture [J]. *Journal of Biotechnology*, 1998, 60: 175-182.
- [35] Mykkestad S. Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polysaccharides [J]. *Science of the Total Environment*, 1995, 165: 155-164.
- [36] De Philippis R, Sili C, Vincenzini M. Response of an exopolysaccharide-producing heterocystous cyanobacterium to changes in metabolic carbon flux [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1996, 8:275-281.
- [37] Friedman C, Dubinsky Z, Arad S M. Effect of light-intensity on growth and polysaccharide production in red and blue-green *Rhodospirillum rubrum* cells [J]. *Bioresource Technology*, 1991, 38: 105-110.
- [38] Kobizek M, Komenda J, Masojedek J, et al. Cell aggregation of the cyanobacterium *Synechococcus elongatus*: Role of the electron transport chain [J]. *Journal of Phycology*, 2000, 36: 662-668.
- [39] Lupi F M, Fernandes H M L, S-Correia I, et al. Temperature profiles of cellular growth and exopolysaccharide synthesis by *Botryococcus braunii* Kutz. UC 58 [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1991, 3:35-42.
- [40] 颜润润,逢勇,王珂,等.不同培养条件下扰动对两种淡水藻生长的影响[J]. *环境科学与技术*, 2007, 30(3):10-12.
- [41] 张毅敏,张永春,张龙江,等.湖泊水动力对蓝藻生长的影响[J]. *中国环境科学*, 2007, 27(5):707-711.
- [42] 汪伟. 非生物因素及其与原生动物牧食作用对微囊藻生理生态特性的耦合效应[D].南京:南京师范大学 2010:1-87.