

试论水华的定义

郑建军¹, 钟成华², 邓春光²

(1. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 重庆市环境科学研究院, 重庆 400020)

摘要 讨论了水华的形成机理、影响因素、类别、危害等相关问题, 并在已有相关研究成果和有关标准基础上提出了水华的定义, 最后利用藻细胞浓度、叶绿素 a、透明度、总磷和总氮 5 个参数制定出水华程度评价等级。

关键词 富营养化; 水华; 形成机理

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2006)05-0045-03

Discussion on definition of algal bloom

ZHENG Jian-jun¹, ZHONG Cheng-hua², DENG Chun-guang²

(1. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Chongqing Institute of Environmental Science, Chongqing 400020, China)

Abstract The formation mechanism, influencing factors, types, and harms of algal bloom were discussed. A definition of algal bloom was brought forward based on the former research and criterion. Different extents of algal bloom were graded based on five indices, i. e. algal cell concentration, chlorophyll-a, transparency, TP, and TN.

Key words eutrophication; algal bloom; formation mechanism

水华又称“水花”或“藻花”, 英文为“water bloom”; “plankton bloom”或“algal bloom”。国外常将有害藻水华称之为“HAB (harmful algal blooms)”。一般认为, 当水体处于富营养状态时, 只要具备适当的温度、光照、风浪等有利于藻类滋生的气象、水文等自然地理条件, 水华就产生了。

据统计, 目前我国已有 60% 的水体发生了富营养化, 超出了国际平均水平^[1], 其中包括长江的三峡库区。有专家指出, 三峡库区已经具备水华的各种条件, 只要时机成熟, 各种条件同时满足, 三峡库区发生水华是必然的^[2]。

1 水华定义问题的提出

由于近年来水体富营养化现象日益严重, 业内人士对水华的关注和研究甚多, 文献报道比比皆是, 但是对于水华的定义却研究甚少, 现有的文献中关于水华的定义往往简单地一笔带过, 对其描述含糊不清, 如: “水华是藻类的爆发性生长”; “水华是水体中浮游生物爆发性繁殖使水面呈现蓝色、红色、棕

色、乳白色等异常水色的现象”; “algal bloom, an explosive growth of phytoplankton..... (水华, 浮游植物的爆发性生长.....)”^[3]。

甚至还有出现将水华和富营养化混为一谈的情况, 忽略了两之间特殊和一般、外因和内因对立统一的辩证关系。

相对较为详细的说法有:

“‘藻花’又称‘水花’。淡水水体中某些蓝藻类过度生长所产生的现象。主要优势种有束丝藻、微胞藻、鱼腥藻、空球藻或隐球藻等。藻花大量发生时, 水面形成一层很厚的绿色藻层, 能释放毒素——湖靛, 对鱼类有毒杀作用”^[4]。

“Algae are a normal component of the life in water bodies but excessive algal growth can become a problem. Algal blooms are primarily caused by excess nutrients, particularly phosphorus and sometimes nitrogen. (藻类是水体中常见的生物成分之一, 但藻类过量生长会带来问题, 过多的营养物质尤其是磷和氮是藻类水华产生的主要原因)”^[5]。

但以上这些定义大都只是对水华现象及其产生的原因作了定性描述,忽略了对暴发持续时间、浮游生物数量等因素给定一个严格的数值范围,使得人们在面临水体异常状况时难以确切地判断是否将要发生或是已经发生了水华现象,也无从判别其严重程度。为了加强对水华的认识,有必要对水华赋予确切的科学定义。

2 关于水华定义的研究

2.1 水华发生的机理研究和成因分析

目前,水体水华的过程和机理还不明确。多数专家认为水华是藻类短时间的大量繁殖和生长,并把水华的发生过程分为潜伏期(水华藻开始快速繁殖)、高峰期(水华藻数量达到高峰)和消散期(水华藻数量显著下降);最近中国科学院有关专家则提出蓝藻水华的“暴发”只是藻类在一定时间内飘浮与积聚,即因空间位置改变而造成的表现现象,而不是生物量的巨变^[6]。然而笔者认为水华的产生是上述两种过程交互作用的结果。

水华产生的过程有长有短,它可能在短短几小时内迅速暴发,也可能经历长达几个月的形成过程。水华多产生于夏季,尤其是蓝藻水华。春末夏初之时,随着天气转暖,水温提高,以及风浪加大等因素,沉积于水体底泥中的营养盐和底泥表面的藻类休眠体开始上浮进入水体,由于水文和气象的优越条件,此时藻类生长的决定因子是营养物质,当水体具有充足的营养物质时,藻类就会快速生长繁殖并最终导致水华产生。但这种水华的产生往往取决于藻类自然生长的过程,故它的形成往往比较缓慢,有时可能需要几个月的时间,不过一经形成便很难消失,除非出现营养盐不足或其他不利条件。当营养物质不足时,藻类的增殖会受到遏制,水华一般不能形成。但某些特殊的条件也可使水华出现,如当水体流速比较缓慢时,风浪有可能将不同区域低密度的藻类聚集起来而形成水华,这便是上述漂浮聚集作用造成的水华。这种水华的形成过程极快,有可能在几天甚至几小时之内发生,但也比较容易消失,三峡库区蓄水后,长江支流大宁河等在回水段附近水面出现的轻微水华现象便可能是上述原因造成的。然而大多数情况下,水华是藻类自身生长和各种外界条件共同作用的结果,这就使水华的产生过程显得极为复杂。

2.2 主要影响因素

水华发生是多种因素共同作用的结果。这些因素包括:①水体中丰富的 N、P 营养物质, BOD 及其他微量元素;②适宜的温度和光照;③适宜的水文地

理条件如缓慢的水流等。由于湖泊、水库水体生态系统相对容易满足上述条件(特别是水流条件),因此湖、库水体发生“水华”现象远多于河流^[7]。

影响水华发生的首要因子是营养盐, N、P 是藻类生长过程中必需的营养元素^[8],它们在水体中的含量直接影响着藻类的生长,从而决定了水华的发生和可能形成的规模和程度。但对于各营养因子具体需要多少量才构成水华发生的条件,目前还没有定论,不过有人研究提出微囊藻所需 N、P 浓度之比为 9:1^[9]。

其次,环境温度对水华的影响也比较大。国内外对此研究较多,并发现不同藻类适应不同的温度范围。如美国生态学家研究发现,微囊藻水华发生的最适温度为 25~30℃,在此温度范围内,微囊藻的比增长率最大,超过 35℃ 则急剧下降;而 Chen Qiuwei^[10]提出球形棕囊藻生长的适宜温度是 13~14℃,华锦彪等^[11]提出日本星杆藻的最适生长温度是 14~14.5℃,而细弱海链藻及裸甲藻喜好 26~27℃ 的高水温,角毛藻喜好 30℃ 的高水温,一旦水温发生变化,无论是变高或是变低都会使得水华消失。另外,藻类还有一个适于上浮和聚集的温度,适宜微囊藻上浮聚集的温度是 26℃。

再次,适宜的光照可以为水华提供有利的条件,并且不同的藻类对生长环境中光照的需求量不同。日本专家曾对微囊藻比增长率与环境光照强度的关系进行了研究,发现微囊藻在环境光照强度为 500~1000 lx 时比增长率能达到最大值,细弱海链藻水华、裸甲藻水华、角毛藻水华达到高峰时的环境光照强度分别为 10580、12350 和 8950 lx^[12]。另一方面,光照强度还会影响藻类的垂直分布,在一定的环境照度范围内,藻类聚集在表层水体中,达到较高的细胞密度,从而形成水华。

除此之外,影响水华的因素还有水体 pH 值、溶解氧、水面风速及水文地理条件等,咸水湖或海洋的水华还跟水体盐度等因素有关。

2.3 发生水华的藻类

在淡水中可能产生水华的种类有蓝藻门的微囊藻属、鱼腥藻属、束丝藻属、胶刺藻属等,除此之外,还有绿藻门和硅藻门的一些种类。不同藻类形成水华的颜色因藻种不同而不尽相同,主要的颜色有绿色、红色和褐色等。

藻的种类和数量分布具有明显的区域性和季节性^[13],这是因为水体中浮游藻类组成与水体理化性质有密切关系,不同藻类所适应的水体理化性质不同,如嗜暖性种喜好水温较高的水体,耐酸性种喜好 pH 值较低的水体等等,故而随着外界条件的不同,

发生水华的藻种不同^[14]。

2.4 水华的危害

发生水华时,水体中藻毒素浓度会大量增加。淡水水华已检测到的藻毒素主要有3种化学结构:环肽、生物碱和脂多糖^[1]。环肽毒素包括七肽的微囊藻毒素(*microcystins*)和五肽的球藻毒素(*nodularins*),微囊藻毒素由于其毒性较大,分布广泛,是目前研究较多的一族有毒化合物,它是蓝藻的微囊藻属、鱼腥藻属、颤造属及念珠藻属的某些品系或种产生的次生代谢物。微囊藻毒素对生物体的毒性作用之一是肝毒作用,该毒素能够在动物肝脏内积累,损害肝细胞,引起急性肝中毒,严重的还可以引起大面积肝出血和肝坏死而导致动物死亡。它对肿瘤细胞的生长还具有诱发和促进作用,是迄今发现的最强的肝肿瘤促进剂。在即将实施的新的生活饮用水规范中,藻毒素已被列为非常规检测项目。

水华一旦暴发,就会造成水体水质的进一步恶化,并产生恶臭,使水体丧失饮用、养殖、景观功能,直接危害居民的生活和生产。

3 水华的综合定义

富营养化是指水中营养物质的富集,因此它是一个相对漫长的过程,而水华则往往只是水体开始富营养化的一种表征呈现。水华的定义对于预测、发现、辨别和治理水华都具有普遍的现实指导意义。但由于形成水华的藻类繁多,各藻种的颜色、细胞干重、生长因子等多方面均有不同程度的差别,因此对于所有藻类水华给出一个普遍精确的定义几乎是不可能的,只能从水华暴发的共性出发,从藻类本质和各种藻类水华共同特征上来定义,给出部分参数的判别范围,即水华的综合定义。

笔者选定藻细胞质量浓度(Cell)、叶绿素 a(Chl-a)、透明度(SD)、总磷(TP)和总氮(TN)5个参数进行水华程度的评价,前3个参数可以直接说明水华的程度,后2个参数是水体产生水华的内因,可以反映水体水华的原因,表明当前的营养状态以及水华持续的可能性。

藻细胞浓度最能直接说明水华优势藻暴发的强度,发生水华前后,藻类大量繁殖,藻细胞浓度不断增大。不同水体藻细胞浓度范围差别极大,从每升上万个到数亿个不等,至于达到一个什么样的浓度才算发生了水华,至今没有一个确切的标准。国内外有人提出藻细胞质量浓度的水华警戒值,如卢大远等^[15]提出汉江水华藻细胞含量警戒值为 0.5×10^6 个/L,而澳大利亚规定饮用水源蓝绿藻细胞含量警戒值为 2×10^6 个/L,渔业、娱乐用水警戒值为

15×10^6 个/L^[16],位于中国南海的珍珠河发生水华,其入海口藻细胞含量达到 38×10^6 个/L^[17]。根据上述数据,可以大致制定一个藻细胞浓度数值范围来判断水华的程度(表1)。

表1 水华程度判别

程 度	藻细胞 含量/ (10^6 个·L ⁻¹)	$\rho(\text{Chl-a})$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	透明度/ m	$\rho(\text{TP})$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
轻度水华	1~10	0.03~0.15	0.5~0.4	0.10~0.35	0.15~2.0
中度水华	10~20	0.15~0.3	0.4~0.1	0.35~0.55	2.0~4.0
重度水华	≥ 20	≥ 0.3	≤ 0.1	≥ 0.55	≥ 4.0

对叶绿素 a、透明度、总磷和总氮,参照 GBZB1—1999 关于湖泊水库特定项目标准值(表2)确定。

表2 湖泊水库特定项目标准值^[18]

类别	$\rho(\text{TP})$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Chl-a})$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	透明度/m
I类	0.002	0.04	0.001	15.0
II类	0.010	0.15	0.004	4.0
III类	0.025	0.30	0.010	2.5
IV类	0.060	0.70	0.030	1.5
V类	0.120	1.20	0.065	0.5

根据表1,取VI、V类水域水质作为参考(国内长期发生水华的水域水质常常达到和超过VI类水域标准),同时参考国内一些富营养化评价标准^[19](表3)以及有关发生水华水体(如滇池^[20]等)的文献数据,确定出不同程度水华的叶绿素 a、透明度、总磷和总氮数值范围(表1)。

表3 太湖营养类型评价标准

营养状况	$\rho(\text{Chl-a})$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	透明度/m	$\rho(\text{TP})$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})$ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
贫营养	0.00066	4.40	0.0046	0.08
贫中营养	0.00160	2.40	0.0100	0.16
中营养	0.00410	1.30	0.0230	0.31
中富营养	0.01000	0.73	0.0500	0.65
富营养	0.02600	0.40	0.1100	1.20
重富营养	0.06400	0.22	0.2500	2.30
极度富营养	0.16000	0.12	0.5550	4.60

综上所述,本文给出水华定义如下:水华是当水体中出现富营养状况并具备适宜的温度、光照、气候及合适的水文条件等有利于藻类生长或聚集的环境条件时,水体藻类大量生长繁殖或聚集并达到一定浓度的现象。这里提出发生不同程度水华的主要相关参数数值指标以供讨论。

4 建 议

a. 目前富营养化和水华都没有一个国际公认的定义,尤其是水华,其暴发机理还在研究之中,建议采用示踪原子法对其暴发过程进行研究。

(下转第80页)

表 7 安徽省各流域降水、径流统计

流域	流域面积/km ²	降水量/mm	径流深/mm	径流系数
淮 河	66 626	946	273	0.29
长 江	66 410	1 284	559	0.44
新安江	6 440	1 665	980	0.59
全 省	139 476	1 140	442	0.39

为保持流域良好水质现状,对点、面源污染的控制要同时进行。除综合采用多种点源控制措施,减少点源排放外,要注意加强水土保持,控制化肥、农药施用量和流失量,只有双管齐下,目前这种良好的

(上接第 47 页)

b. 由于条件的限制,在此没能对水华分藻类进行研究,建议对不同水华藻类的暴发机理、暴发时间和暴发量进行研究,并寻找营养物质、外界理化条件(如温度、pH 值等等)与水华暴发各参数(如浓度、暴发时间等等)之间的关系,以建立有关模型为目标和手段,把握水华发生的内在本质。并希望能将各种藻类水华暴发参数数值范围细化,以便能更准确地判别水华现象。

c. 本文所确定的水华判断标准综合了许多研究者的研究成果与实践经验,但难免有不妥的地方,希望能够引起有关方面的足够重视,共同关注水华的定义问题,并将上述数据系统进一步完善,以便对水华给出一个完整准确的定义。

参考文献:

[1] 张维昊,徐小清,丘昌强.水环境中微囊藻毒素研究进展[J].环境科学研究,2001,14(2):57-61.

[2] 钟成华.三峡库区水体富营养化研究[D].重庆:四川大学,2004.

[3] YABUNAKA K, HOSOMI M, MURAKAMI A. Novel application of a backpropagation artificial neural network model formulated to predict algal bloom[J]. Wat Sci Tech, 1997, 36(5):89-97.

[4] 方如康.环境学词典[M].北京:科学出版社,2003:125.

[5] GAMINI H. Freshwater algal blooms and their control: Comparison of the European and Australian Experience[J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51:217-227.

[6] 中国科学院南京地理与湖泊研究所.科研人员提出蓝藻水华形成机理研究新思路[EB/OL]. [2004-05-04]. http://www.cas.ac.cn/html/dir/2004/05/04/3177.htm.

[7] 张九红,敖良桂.汉江中下游水质现状及污染趋势分析[J].水资源保护,2004(3):46-49.

[8] 徐宁,陈菊芳,王朝晖,等.广东大亚湾藻类水华的动力学分析(II)——藻类水华与营养元素的关系研究[J].环境科学学报,2001,21(4):400-404.

水环境质量状况才能保持下去。

参考文献:

[1] 许科文,吕怀炼.嘉兴市引水工程可选水源地水质研究[J].水资源保护,2004(3):30.

[2] 安徽省水利厅.安徽省水功能区划[M].北京:中国水利水电出版社,2004:89-95.

[3] 安徽省统计局.2001安徽统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2002.

[9] 廖日红,井艳文.北京城区河湖水体水华现象成因的初步分析[J].北京水利,2002(5):32-33.

[10] CHEN Qiwen, ARTHUR E.M. Predicting phaeocystis globosa bloom in Dutch coastal waters by decision trees and nonlinear piecewise regression[J]. Ecological Modeling, 2004, 176:277-290.

[11] 华锦彪,宗志祥.洋河水库水华发生的实验研究[J].北京大学学报:自然科学版,1994,30(4):476-484.

[12] 徐宁,陈菊芳,王朝晖,等.广东大亚湾藻类水华的动力学分析(I)——藻类水华的生消过程及其与环境因子的关系[J].海洋环境科学,2001,20(2):2-6.

[13] 杨士建.骆马湖富营养化发生机制与防治途径初探[J].水资源保护,2004(3):26-28.

[14] 王苏民,奚鸿身.中国湖泊志[M].北京:科学出版社,1998:120.

[15] 卢大远,刘培刚,范天俞,等.汉江下游突发“水华”的调查研究[J].环境科学研究,2000,13(2):29-31.

[16] 陈汉辉.澳大利亚水华的控制和管理[J].环境导报,1995(5):32-33.

[17] TANG DanLing. In situ and satellite observations of a harmful algal bloom and water condition at the Pearl River estuary in late autumn 1998[J]. Harmful Algae, 2003(2):289-299.

[18] 中国环境保护标准汇编——环境质量与污染物排放[S].北京:中国标准出版社,2000:148.

[19] 范成新,季江,张文华,等.贡湖水水质富营养化综合评价及初步预测[J].海洋湖沼通报,1997(3):19-24.

[20] 吴为梁.滇池富营养化与藻类资源[J].云南环境科学,2000,19(1):35-37.

(收稿日期 2005-01-17 编辑:高渭文)

