

水域的富营养化 及其防治对策

日本机械工业联合会

日本产业机械工业会

9553
54

中国环境科学出版社

水域的富营养化 及其防治对策

日本机械工业联合会 日本产业机械工业会

杨颖奎 胡保林 译

程振华 校

中国环境科学出版社

1987

内 容 简 介

本书对封闭性水域的富营养化问题进行了综合的、系统的调查研究，阐述了富营养化的现象、状况、影响、指标及发生机理，并提出了富营养化的防治对策及对策的研究等。书中的调查研究结果可用于生产、生活等废水的高级处理技术的开发，对研究封闭性水域富营养化的有关问题十分有益。

书中的资料丰富，调查研究方法新颖，适合于从事环境保护工作的科技和管理人员，以及有关大专院校师生参考。

湖沼等における富栄養化防止システムの調査研究報告書

日本機械工業連合会 日本産業機械工業会

東京 1981年

水域的富营养化及其防治对策

日本機械工業聯合會 日本産業機械工業會

杨镇奎 胡保林 译

程振华 校

责任编辑 李玲英

中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街69号

北京市平谷县大华山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1987年7月第一版 开本 787×1092 1/32

1987年7月第一次印刷 印张 8 $\frac{3}{4}$ 插页 1

印数 0001—5,000 字数 194,000

ISBN 7-80010-006-5/X0014

统一书号 13239,0001

定价 2.00元

译 者 的 话

目前，水域富营养化已成为世界性的水环境问题，很多国家为消除它的危害，做了大量的研究工作。本书较系统地阐述和研究了日本水域富营养化的发生发展状况、影响因素和防治对策，可作为一本较好的参考书供我们借鉴。

翻译本书时曾得到黄振管，吴锦等同志的指教，程振华同志进行了校阅，谨致谢意。

由于我们水平有限，译文中难免有缺点和错误，敬请读者批评指正。

译 者

一九八六年六月

目 录

第一章 富营养化的现象	(1)
一、富营养化与水质污染	(1)
二、富营养化的特征与生物种群的变化	(7)
第二章 富营养化的实况	(14)
一、序言	(14)
二、湖泊	(14)
三、封闭性海域	(35)
第三章 富营养化的影响	(50)
一、序言	(50)
二、生活用水及工业用水	(50)
三、旅游及疗养	(53)
四、农业及畜牧业	(58)
五、水产业	(62)
六、结束语	(68)
第四章 富营养化的指标	(70)
一、物理指标	(70)
二、化学指标	(73)
三、生物学指标	(82)
四、综合评价	(95)
第五章 引起富营养化的物质	(99)
一、引起富营养化的物质	(99)
二、氮和磷的循环及其形态	(104)
三、氮和磷的发生源	(106)
四、富营养化和氮、磷的浓度	(123)

第六章 富营养化的对策	(133)
一、富营养化对策概要	(133)
二、排水的处理	(133)
三、改变产品	(159)
四、流路变更	(164)
五、土地利用的限制等	(167)
六、用其它方法控制富营养化	(167)
第七章 富营养化对策和研究开发的动向	(174)
一、环境厅	(174)
二、厚生省	(189)
三、农林水产省	(191)
四、运输省	(194)
五、建设省	(197)
六、通商产业省	(201)
七、地方公共团体	(205)
八、欧美湖泊的富营养化防止对策	(215)
第八章 富营养化防治系统	(224)
一、防治系统的设想	(224)
二、自然科学的因子和环境体系	(224)
三、与环境特征相关联的子系统	(227)
四、氮、磷的流入、流出及控制	(228)
五、封闭性水域的防止对策	(234)
第九章 未来的课题	(253)
一、氮、磷负荷量的演变和对策	(253)
二、生态系统的研究方法	(257)
三、富营养化模拟的开发	(258)
四、公用水域的自动监测系统	(259)
五、用工程学方法解决的课题	(261)
六、创造环境	(263)

第一章 富营养化的现象

一、富营养化与水质污染

“富营养化”现象与“水质污染”之间有着密切的联系，都是“由于人为的及自然的因素引起的水质恶化”，因而很难判断究竟是人为因素造成的，还是自然因素造成的。

随着人口的增长，所引起能源消费的增加和不合理的使用，影响到大气状态发生气温、风量、降雨量的变化。同时这种变化也受到自古以来存在的火山的反复爆发的及太阳黑子群运动的影响。

因此，在本章中，将人类生产活动和生活活动排放污水（生活污水，工业废水，农业、畜牧业废水，养殖业废水）直接影响的水域，称为人为的污染水域。除此之外，则称自然状态水域。

（一）研究的历史

所谓“富营养化”一词，得到公众承认的时间并不长。

“在水中，由于硅酸盐、磷酸盐、硝酸盐和铵盐等相互的关联作用，给农业、水产业带来各种灾害”其中，铵盐的供给平衡遭到破坏，就会使农作物特别是果实被大量毁坏。这种因果关系，在农业上被作为一条经验吸取，因此，自古以来人们就按季节调节施肥量。但是，就其直接因果关系进行系统研究，这还是近三十年的事情。

本章首先就“富营养化”造成的危害，举几个历史文献中记载的事例加以说明：

1) 最早的记载是在公元前325年。当时记载了这样一个现象，在现在的冰洲近海，海面浮起一层厚厚的粘状物。

2) 1831—1836年，塔乌仁曾报告：著名的小猎犬号航海时，在巴西、智利的海域，海面上发生了红色的变化。

3) 在日本的镰仓时代，也曾记录了海面、湖面变色的现象。

这说明了人们很早就开始了对赤潮的研究。早在十九世纪中叶，就有人报道了当时科学家所进行的若干项研究：

1) 1844年，S.T.沃克(S.T.Walker)所做关于墨西哥湾鱼类窒息的研究。

2) 1855年，W.韦布(W.Webb)所做关于赤潮生物的研究。

3) 1855年，H.J.卡特(H.J.Carter)所做关于孟买岛沿岸区域赤潮现象的研究。

4) 1891年，日本的野元、丸川所做关于英虞湾的赤潮研究。

5) 1900—1901年，西川所做关于夜光虫和旋沟虫的赤潮研究。

此后，世界各地出现了更多的有关赤潮的报道文章。但大部分是记录赤潮的迁移、赤潮生物的种类、发生时的环境以及赤潮产生的危害等。在一定的海域，对赤潮从发生直到消失为止，进行系统的连续的调查研究，即有关赤潮发生机理的明确论述还是从三十年代初开始的。正规系统的论著直到第二次世界大战之后才出现。

在日本，从五十年代后期开始，濑户内海，内湾的赤潮

现象连续发生，并有明显的稳定性。1964年，文部省进行了“有害的浮游生物”的研究。1966年由农林水产省的农林水产特别试验费资助的“赤潮研究协会”、九州大学、三重大学、广岛大学、香川大学、长崎大学等，联合进行了“赤潮发生机理”的研究。第Ⅰ期，1966—1968年；第Ⅱ期，1969—1971年。

通过研究，人们对于赤潮发生机理的认识有了飞跃的进步。这对于以后的研究，产生了很大影响。

在内地，从卫生和城市管理角度出发，在粪便污水和工业废水向河流、湖泊排放前，要进行处理，以达到保护环境的目的，这是六十年代由于城市人口密度显著增加而采取的措施。

关于河流、小湖泊的富营养化现象和原因以及产生的危害情况，同样受到人们高度重视，并进行了调查研究。

美国的排灌用水水质等级见表1-1（供参考）。1962年日本水产资源保护协会制定的水产环境基准见表1-2。

表 1-1 美国的排灌用水水质等级

等 级	钠	硼				氯化物	硫酸盐	导电 系数	全盐类
	钠×100	ppm	对 于 硼			mg/l	mg/l	k×10 ⁵ (25℃)	ppm
	钠+钙+镁+钾		过敏 性植 物	略有抵 抗力植 物	有抵 抗力植 物				
1	30—60	0.5以下	○	○	○	5.5 以下	10 以下	50 以下	700 以下
2	30—70	0.5—2.0	×	○	○	2—16	4—40	50— 300	350— 2100
3	70以上	2.0—3.5	×	×	○	16以上	20以上	300以 上	2100以 上

表 1-2 水产环境水质基准(摘录)

1. 有机物及营养盐类

(1) 淡水域

① 河流

- 1) 作为自然繁殖条件, EOD_5 应为 3ppm 以下。但对于鲑鱼、大马哈鱼、香鱼应为 2ppm 以下。
- 2) 作为生育条件, BOD_5 应为 5ppm 以下。但对于鲑鱼、大马哈鱼、香鱼应为 3ppm 以下。并且, 在任何情况下, T-P 应为 0.1ppm 以下, 但湖泊及属于人工湖的河流则为 0.05ppm 以下。

② 湖泊

- 1) 作为自然繁殖条件, COD 应为 4ppm 以下。但对鲑鱼、大马哈鱼、香鱼则为 2ppm。
- 2) 作为生育条件, COD 应为 5ppm 以下。但对鲑鱼、大马哈鱼、香鱼则为 3ppm 以下。并且在任何情况下, T-P 都为 0.05ppm 以下。

(2) 海域

- 1) 在一般的海域, COD 应为 1ppm 以下。在暖流系统的内湾海域, 为避免长期连续发生赤潮, 无机氮应为 0.1ppm 以下, 无机磷应为 0.01⁵ ppm 以下。
- 2) 在紫菜养殖场, COD 应为 2ppm 以下。

2. 溶解氧(DO)

- 1) 在河流及湖泊为 6ppm 以上。但对鲑鱼、大马哈鱼、香鱼则为 7ppm 以上。
- 2) 在海域为 6ppm 以上。

3. 底质

- 1) 河流、湖泊里, 由于有有机物等, 不会有污泥床、水绵等产生。
- 2) 在海域, 干泥应为 COD 20mg/l 以下, 硫化物 0.2mg/l 以下, 正己烷萃取物 0.1ppm 以下。
- 3) 微细的悬浮物附在岩石、砾、碎石等上, 应不伤害种苗的着生。
- 4) 溶出, 不含有害性成分。

(二) 自然状态水域的富营养化

关于自然状态水域, 由于资料较少, 所以对水质向富营养化变化进行系统说明还比较困难。对于不同自然状态的湖水的调查见表 1-3、1-4。

表 1-3 透明度的变化与氮负荷

湖泊名	透明度的变化 (m)			氮负荷 g/(m ² ·a)	磷负荷 g/(m ² ·a)
	以前的文献	新的文献	原因		
芦 湖	16 (1925年)	2.8—3.8 (1971年)	旅游区排水影响大	13.2	2.28
中禅寺湖	18.5 (1930年)	7—10 (1971年)	旅游区排水影响中	2.1	0.36
本栖湖	18.0 (1929年)	8—9.5 (1971年)	旅游区排水影响小	0.8	0.14
菅沼	19.0 (1914年)	15.0 (1961年)	—	—	—

表 1-4 雾峰高处沼泽地中湖泊的COD值

池沼名	测定年 (7月)	COD (ppm) (碱法)	污 染 源
八 岛 池	1933	12.1	生长过的植物变成腐植质
鬼 原 水	1933	12.9	
鎌 池	1932	14.3	

(三) 污染状态水域的富营养化

在日本,人为的污染水域,以諏访湖、相模湖、瀬户内海为例,见表1-5—1-7。

表 1-5 諏访湖湖心表层水(单位mg/l)

	1910年(8月)	1940年后(3月)	1960年后(4月)
NH ₄ ⁺ -N	0	0.1—0.15	0.1—0.2
NO ₂ ⁻ -N	0	0.003	0.01—0.02
NO ₃ ⁻ -N	痕量	0.12	0.2—0.25
PO ₄ ³⁻ -P	痕量	0.02	0.01—0.02
Cl ⁻	8.0	11.0	13.0

表 1-6 相模湖放流水

	1956年平均	1962年平均	1968年平均
NH_4^+-N	0.01	0.025	0.06
NO_2^--N	0.01	0.01	0.02
NO_3^--N	0.04	0.05	0.06
$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	—	0.05	0.2

表 1-7 濑户内海表层的DIP、DIN($\mu\text{g-at/l}$)浓度

场 所			大阪湾 (南部)	播磨滩 (南部)	濑户 (东部)	广岛湾	周防滩 (西部)	响滩
DIP	1972年	5月	—	0.43	0.27	0.16	0.13	—
		8月	1.25	0.76	0.92	0.28	0.23	0.34
		11月	1.45	0.79	0.33	0.45	0.43	0.65
	1973年	2月	0.90	0.38	0.36	0.23	0.13	0.24
		5月	0.63	0.17	0.22	0.06	0.10	0.10
		8月	1.13	0.24	0.60	—	0.36	0.56
		11月	1.00	0.74	0.22	0.31	0.17	0.61
NH_4^+-N	1972年	5月	2.0	2.4	1.1	1.0	3.1	10.6
		8月	3.0	2.2	1.8	1.4	1.5	5.4
		10月	2.0	2.7	0.9	1.2	6.5	7.3
	1973年	1月	4.6	2.0	3.8	3.3	5.2	9.1
		5月	13.7	2.5	1.2	1.3	2.3	5.0
NO_3^--N	1972年	5月	4.6	0.5	0.5	1.7	5.1	0.5
		8月	5.6	1.5	1.2	0.9	2.6	1.5
		10月	1.8	3.4	1.8	1.5	3.2	3.4
	1973年	1月	12.8	6.6	7.2	4.5	2.9	6.6
		5月	6.3	0.4	0.6	1.0	1.3	0.4

注：本表中的DIP、DIN及($\mu\text{g-at/l}$)引用原文。译者

二、富营养化的特征与生物种群的变化

(一) 营养状态与生物种群

表示水域(或海域)营养状态,不同的研究者有不同的方法。在此举出几例,以供比较。

表 1-8 海域的营养等级区分

特 征	腐 水 域	过 营 养 域		富 营 养 域	贫 营 养 域
		深 域	浅 域		
透明度 水色	3 以下 带臭味	3 以下 呈黄色、黄绿色、 赤褐色		3—10 短时间局部着色	10 以上 不着色
COD mg/l	10 以上	3—10		1—3	1 以下
BOD ₅ mg/l	10 以上	3—10		1—3	1 以下
无机态氮化合物 (mg/ait N/l)	100 以上	10—100		2—10	2 以下
溶解氧 (对饱和比)	直至接近表层 0—30 %	表层过 饱和 底层 0—30 %	表层过 饱和	直至中层为饱 和状态 数米以下为 30—80 %	直至底层 为饱和状 态
H ₂ S	接近表层可看到	在底层 可看到	看不到	看不到	看不到
初级生产量 mgC/(m ³ ·ha)	—	10—200		1—10	1 <
泥色	黑色、表层无褐 色的氧化层	黑色、 无氧化 层	略带臭 味、有 氧化层	有时有带黑色 的氧化层	无臭味, 有氧化层
硫化物 mg/g	1.0 <	0.3—3.0		0.03—0.3	0.03
COD mg/g	—	30 <		3—30	5 >

注: 本表中的 (mg/ait N/l) 引用原文。译者

表 1-9 陆地水生物学的等级

等 级	DO % (对饱和溶解度)	等 级
第 1 级 贫腐水性	100 % 80—100 %	1. 清水性 2. 贫腐水性
第 2 级 β 中腐水性	50—80 %	3. σ 中腐水性 4. β 中腐水性
第 3 级 α 中腐水性	20—50 %	5. α 中腐水性 6. σ 强腐水性
第 4 级 强腐水性	0—20 %	7. β 强腐水性 8. α 强腐水性 9. 高强腐水性

因此，对比表1-8和1-9得到下表(表1-10,指标为DO)。

表 1-10 水域表示比较

海 域 等 级	陆 地 水 等 级	陆 地 水 级 别
贫营养域	第 1 级 贫腐水性	1. 清 水 性 2. 贫 腐 水 性
富营养域	第 2 级 β 中腐水性	3. σ 中腐水性 4. β 中腐水性
过营养域	第 3 级 α 中腐水性	5. α 中腐水性 6. σ 强腐水性
腐 水 域	第 4 级 强腐水性	7. β 强腐水性 8. α 强腐水性 9. 高强腐水性

上述各等级，在同一水域中并不是固定的，而是时时刻刻地变化着。因此，在某等级中的优势种生物统治它的水域方面，由于有时间差，某生物种群在成为它的水域优势种时，同时也看到水域的营养状态变化。水质等级与优势种的大致比较，示于表1-11。

（二）富营养化的生物种群变化

人们经过长期观察发现了水域富营养化的生物种群变化规律（表1-12、1-13）。

（三）伴随异常现象的生物种群变化

水域（海域）的水质污染是不断变化的。生物的优势种通常也随之交替进行变化。

（1）随洞爷湖的有珠山火山爆发带来的浮游生物种群变化。

随着自然界异常现象的出现，种群发生变化的特征，是种数的增加。这种现象产生的原因不但是由于降灰的直接影响，而是由于酸性化的反复。（1977年8月间，有珠山的火山爆发）。

（2）向海域流入大量石油对生物的影响。

1967年3月，在英吉利海峡，由于油轮触礁事故，一周之内流出原油10000万l。为清除油污，使用了1000万l以上的非离子系分散剂。

这些分散剂对于生物的影响比流出的石油更大。事后，科学家对这种影响进行了大规模的调查，得到以下结果（见表1-11、1-12、1-13）：

表 1-11 生物学水质优势种等级^{2) 5)}

级 别	优 势 种 群 落
1. 清 水 种	a. 绿藻群落 b. 红藻群落 c. 石灰被覆藻类群落
2. 贫 腐 水 性	a. 绿藻群落 b. 纯环状扇形藻群落 c. 红藻群落 d. 无柄无隔藻群落
3. σ 中腐水性	a. 红藻群落 b. 绿藻群落(清水种)
4. β 中腐水性	a. 脆弱刚毛藻群落 b. 席藻群落
5. α 中腐水性	a. 环丝藻群落 b. 底栖颤藻群落
6. σ 强腐水性	a. 绿色颤藻群落 b. 浮游球衣细菌
7. β 强腐水性	a. 贝氏硫细菌群落 b. 发硫菌群落 c. 裸藻群落
8. α 强腐水性	a. 裸藻群落 b. 赤硫细菌群落 c. 纯绿辐杆藻群落
9. 高强腐水性	a. 细菌群落 b. 耗氧生物群落 c. 细菌群落+耗氧生物群落

表 1-12 諏訪湖浮游植物的优势顺序变化¹⁾

浮游植物		1910年	1940年下半年	1960年下半年
蓝藻类	微囊藻		①60%	①99%
	鱼腥藻	⑥	⑥	
硅藻类	直链藻	①	②	②
	星杆藻	②	③	③
	针杆藻	③	④	⑥
	小环藻	⑤		④
	平板藻	④	⑤	
	脆杆藻			⑤
细胞数(1/ml)		—	$\times 10^3-4$	$\times 10^4-5$
叶绿素量(mg/m ³)		—	50—60	80—100
细菌数(1/ml)		$\times 10^2-3$	$\times 10^3-4$	$\times 10^5-6$

表 1-13 諏訪湖大型水生植物优势顺序变化²⁾

大型水生植物	优势顺序		
	1911年	1949年	1967年
黑藻	⑤	①40%	②30%
石菖藻	③	②20%	④4%
眼子菜			⑤
仙入藻	①	⑤	⑧
箭叶藻		③12%	③14%
广叶海志藻	②	⑦	⑦
松藻	⑥	④	⑨
茨藻	④	⑥	⑩
菱角		⑧	①34%
萍蓬草		⑨	⑥
全湖现存量湿重(t)		968	1210
分布限界深度(m)	3.5—4.0	2.5—3.0	2.0—2.5