

赤潮与吃食贝类的麻痹性中毒

邓子久

(中国科学院海洋研究所)

早在十七世纪初期就有记载印第安人禁忌吃赤潮海域的贝类的传说。1609年,一位经常旅行的法国律师Marc Lescarbot,在北美洲东北海岸的Port Royal, Nova Scotia,发现那里的印第安人死也不吃贻贝。在北美洲西海岸,一些印第安部落保有一种习惯,专门在晚上守望海面,当发现海水发光的时候,就绝不吃贝类海鲜。今天我们知道,这种光可以由许多种双鞭藻(Dinoflagellates)发出,其中有些双鞭藻正是人们食用贝类海鲜中毒的来源。在阿拉斯加(Alaska)海边,传说有一次印第安人为了要好好处置那些为非做歹的俄罗斯移民,便邀请他们在Baranov岛和Chichagof岛的附近吃一餐贝类大宴,以此了结了他们。今天这些岛屿之间的海上通道,称之为Peril Strait(灾难海峡),事实上航海家在这里也碰不上什么海上灾难。有人认为这是因海域附近极毒的贝类食物而命名的。从这些例子可以了解到印第安人早就知道今天科学家所称之为的贝类食物麻痹性中毒(Paralytic Shellfish Poisoning,以下简称PSP)。也就是俗称为赤潮所导致的。

一、何谓赤潮

事实上,不同的人对赤潮有不同的理解。对海洋学家来说,它可能指浮游植物富集生长(Bloom),以致使海水变色。海水变色,是由于某部分光谱的光被浮游植物的色素(主要由Carotenoids)吸收所致。但红色的海水又常常是由无毒的生物造成的。例如,当许多无脊椎动物的幼虫群聚密集,会使海水呈锈红色;其他无毒的微藻也能使海水变色。此外,有时候有毒的双鞭藻的数量不一定会富集到使海水变色,然而却足以使贝类动物因捕食它们中

毒。因此,严格说来,“赤潮”一词不甚严密精确。似乎也没有另一种通俗的名词来指示双鞭藻密集繁殖所造成的毒害。为了区分,笔者认为以“有毒双鞭藻赤潮”来联系PSP较妥。

最近20年来,科学研究已经解开了一些PSP之迷,但也引起了一些新的疑问。近来PSP发生的次数增加了,而且还扩展到新的水域去。例如,美国东北部的麻州(Massachusetts)南海岸的一些水域,从无PSP的发生,但是在1972年却出现了“赤潮”。1976年,PSP也在西班牙北部第一次发生。据报道,赤潮遍及日本、加拿大、美国、阿根廷、巴西、智利、秘鲁、委内瑞拉、西班牙、英格兰、苏格兰、荷兰、挪威、及新几内亚等许多的国家海域。

二、PSP的特性

我们知道,一些引人注目的鱼蟹大量死亡有几种原因:一是由于密集的微藻堵塞了它们的鳃;二是可能由于赤潮发生后,水体中营养缺乏;三是因光照、温度或盐度等条件变得不适宜,致使整个种群大量死亡;四是数量巨大的微藻死亡后分解而消耗了水中的氧,上水层的鱼类及底栖的贝类都因窒息而死亡。另外一种情况,是某些双鞭藻含有毒素,鱼类将它们摄食后中毒身亡;贝类动物将它们摄取后,有的死亡,没有死亡的则在体内积聚毒素。这些贝类经脊椎动物食用后,发生麻痹性中毒,即PSP。当然,赤潮双鞭藻死亡分解时,体内毒素也会释放到海水中从而毒害大量的海洋生物。

据White(1977, 1979, 1981)的报告,有毒的双鞭藻,例如Gonyaulax excavata可以先为许多种浮游动物所摄食,此类浮游动物

再为食物链上层的动物（如鱼类）所摄取，造成中毒或死亡。所以这种毒素可以经由食物链而向上传递。

直到1978年的统计，世界上因此而引起的人类死亡事件，已有300多起。这种中毒的病症，轻者为头痛、头昏、作呕；重者语无伦次，呼吸困难；病危者肌肉麻痹，感觉窒息。

一些证据表明，一个人若是经常吃含有这种毒素的贝类食物，即使毒素浓度很低，也会渐渐建立起对PSP的免疫性。医学上对PSP的诊断是存在困难的，因为患者常被误诊为与酒醉有关。

在人体内，PSP毒素能抑制神经的传导。当对横隔膜的神经冲动被抑制时，便引起呼吸性的麻痹，在食后24小时之内，可能造成死亡。目前尚无任何解毒剂。由于PSP毒素严重危及人体健康，美国沿海各州对PSP这一问题有两种对策：一是经常监测贝类食物所含的毒性；二是关闭某些海域，不准捕挖蚌蛤、贝类等海鲜产品。

1937年美国试验一种标准的检验方法，叫做小鼠测验（Mouse Test），至今仍然沿用。这种方法，是从贝类食物的肉中抽取体液，对实验室的小鼠行腹膜内注射（Intraperitoneal injection）。小鼠死亡数目与毒素含量成正比。贝类动物的毒性程度，见表。一些欧洲国家在1976年西班牙北海岸发生PSP事件后，也都相继效法，制订监测的办法。

表 经小鼠测验所得的PSP毒性程度

PSP毒性程度	毒素浓度 (微克/100克动物体组织)
灵敏度限制（小鼠测验要求之最低浓度）	58
禁止捕挖贝类	80
成人人体中度中毒	1,000
成人致死	10,000

三、有毒双鞭藻的生态

双鞭藻与硅藻、颗石鞭毛藻（Coccolith-

ophores)等都是海洋浮游植物。双鞭藻为单细胞，靠两条鞭毛游泳，其中许多（包括能致PSP者）都能发出生物光（Bioluminescence）。赤潮双鞭藻的比生长率（Specific growth rate）约在5天1次分裂到1天2次分裂之间，因此赤潮双鞭藻能由少数细胞很快地发展为富集的种群。

一般而言，若是其种群密度在1升的海水中达到 10^6 个细胞，海水就会变色。这么高的密度是从何而来？一是由于环境因素，如温度、光线、及某种营养量等的配合，使之急速分裂繁殖。营养浓度高是一必需的因素，在上升流（Upwelling）或淡水入海处附近，因营养高，有时便发生赤潮。二是由于水流的物理作用，将大量的双鞭藻汇合集中于某一水域。在许多情况下，往往是上述两类原因的综合作用，造成赤潮。

有毒双鞭藻赤潮的监测及防范虽然重要，却有证据表明，当这些微藻行富集生长到最后阶段时，人们才发现赤潮。研究人员准备对它进行调查时，赤潮的起源及其发生的机制、经过，往往皆已成为过去，这样就大大地阻碍我们去实地了解赤潮的形成过程。

赤潮双鞭藻在北美西海岸有 *Gonyaulax catenella* 及 *G. acatenella*，在北美东海岸、日本、及西北欧，则有 *G. excavata*。多年来，科学家们一直在自然界和实验室内研究这些能引起PSP的双鞭藻，目的是为了准确地鉴别它们，了解它们生长的条件，并能指出何种特殊环境因子有助于贝类毒性的发生。科学家们希望能经过研究导出某种供预测的指标。安全措施包括两项工作，一是不时地监测在海水中游动的双鞭藻，二是去探查初起的赤潮。

四、赤潮双鞭藻的分类及生活史

近年来，分类学家借助于扫描电子显微镜仔细观察那些能引起PSP的微小的双鞭藻，试图有效地利用微小的形态上的细节去鉴定这些生物。现在我们已经知道，根据细微的形态和生理的不同，被称为 *G. excavata* 的双鞭藻，

实际上还可以细分为几种。科学家们想要弄清 *G. excavata* 是否有不同的环境要求, 是否有不同的毒性, 以及其毒性是否由各种不同的环境因素而引起。目前从自然界和实验室的研究得到一点证据, 认为其中至少有一种是无毒的。这么一来, 用一般显微镜来侦测有毒的双鞭藻, 就变得不大可靠了。

双鞭藻的生活史的研究已越来越受到重视。我们已经知道 *Gonyaulax excavata* 除了游动的生命阶段(游动细胞直径35微米)之外, 还至少有两种不游动的阶段: 一种是暂时性的孢囊(直径约30—40微米), 在不利的环境下易于产生; 当环境再变得有利时, 便又迅速回复为常见的游动细胞。这种暂时性的孢囊只能在实验室的培养中见到。当然, 可以想象, 在自然界的条件不适时, *G. excavata* 也会利用这种暂时性的孢囊渡过难关。另一种不游动的孢囊, 是休眠孢囊(成卵形, 25×40 微米), 可能含有性生殖的合子(Zygote)。这种孢囊, 内部备有储存的营养, 借以过冬。它们沉降到达100米深的底层水, 聚集在沉积物与水体的界面的丛絮状层(Flocculent layer)中。它们似乎需要至少4个月的休眠, 而且休眠期还可更长。海洋学家采到了休眠几个月的孢囊, 经过测定, 发现它们的毒性至少比游动细胞高10倍以上。另有证据表明, 休眠孢囊形成后, 毒性随时间而减少, 所以可以推知 *G. excavata* 新形成的休眠孢囊的毒性可能比其游动细胞高达1000倍。这样一来, PSP的问题就更复杂: 某些地区即使在沒有游动的双鞭藻细胞存在时, 贝类动物也可能产生毒性。换句话说, 即使我们在水面没看见赤潮, 休眠孢囊仍可能造成严重的PSP。在较深的水底, 或冬季, 或双鞭藻赤潮停息后, 贝类动物都有机会摄取这种剧毒的休眠孢囊。由于这个缘故, 要监测有关PSP的浮游藻类, 就有必要监测包括底栖的休眠孢囊及其沉积过程。

五、赤潮双鞭藻与微量金属的关系

目前已有不少的资料, 涉及有机物质和微

量金属同浮游植物的生长和分布的关系。早期的实验证明, 将土壤提取液或海藻提取液或其他有机螯合物加入海水或培养液中, 便能增进浮游植物尤其是双鞭藻的生长。六十年代中, 有些人在加拿大的芬蒂湾研究得出河流流出量指数; 在墨西哥湾的庇斯河也搞出铁含量指数, 用以推测它们与双鞭藻赤潮的相关性。但这些指数总还不能令人满意。在实验室中, 双鞭藻类, 尤其是赤潮双鞭藻, 非常难于培养, 有人认为可能是由于极为复杂的营养要求。1978年, 美国麻省理工学院(MIT)的Anderson和Morel的先进研究, 显示了铜的重要性。他们在 *G. tamarensis* 的培养液中, 仔细控制各种金属的含量, 发现当二价铜离子的浓度极低时, 细胞才较好地生长增殖。*G. tamarensis* 对微量金属例如二价铜离子的敏感性, 对照夏季浮游植物群落中其他的成员, 要超过几个数量级。

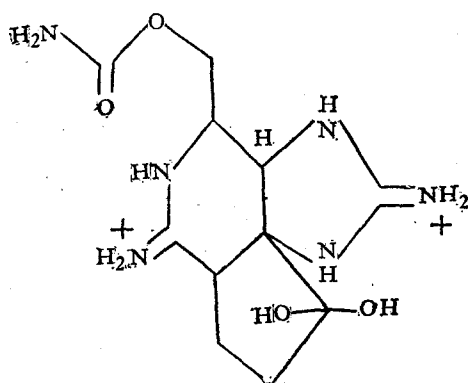
MIT的这些研究人员将以上的发现联系到天然环境去。他们认为, 在美国东北部新英格兰区的海岸地带, 一般的二价铜离子浓度足以抑制 *G. tamarensis*, 而却容许其他的浮游植物繁茂地生长。然而在特殊情况之下, 例如大雨过后, 大量的有机物从陆地、潮间带海藻区, 以及河口等处注入某一海区; 或者在浅水的地方, 有机物同水的搅动混合而从底部上升, 这时铜离子就被螯合, 其自由离子活度急降, *G. tamarensis* 就可能行富集繁殖, 造成赤潮。除此之外, 激增的有机物, 也大大提高了铁化合物对细胞的可用程度(Availability), 这点对双鞭藻来说, 也是有利的。双鞭藻需铁的量一般大于其他的浮游植物。由此看来, 有机物的螯合作用对铜及铁的影响, 可能在双鞭藻赤潮发生的机制中, 起着相当重要的作用。目前尚不能在自然界证明此一理论, 因为海水中鉴定各种微量金属的化学型式(Speciation)的方法, 还不足以满足此一要求。尽管如此, 一些数据和环境资料却还能支持这个理论。譬如在1976年美国Maine州海岸外的Monhegan Islands发生了双鞭藻赤潮, 当时海水中的铁浓

度超过往常的量。次年在该海域便进行了较详尽的跟踪侦测, 经显示含铜量太高, 含铁量太低, 皆不适合 *G. tamarensis* 的生长。这年夏天便无双鞭藻的繁生。与此同时, 在秘鲁海岸的上升流水域, 调查证明二价铜离子的浓度极低, 果然, 浩瀚富密的双鞭藻 *Gymnodinium Splendens* 的赤潮就在那儿发生, 并伴有一种鞭毛虫 *Mesodinium rubrum* 大量繁殖, 其体内则含有一种共生性的双鞭藻。

另外, 参照 Maine 州海岸发生 PSP 的记录地图, 可以发现, 没有 PSP 记录的地区, 其海岸多由火成岩组成, 而且其中有些火成岩还是来自报废的铜矿。根据对这些地区的海藻的分析, 发现其体内所含的铜约等于 Maine 州其他海岸带的海藻中所含铜的 2 倍。初步的调查似乎也指出, 在这些火成岩海岸带, *G. tamarensis* 的底栖休眠孢囊比较少。

六、PSP 双鞭藻的毒素化学

过去, 科学家以为北美洲海岸的 *Gonyaulax* 的毒性, 是由于一种纯的 Saxitoxin。因此, 小鼠测验一直以 Saxitoxin 为准。但在最近的研究指出, 仅在 *G. excavata* 中, 就至少还有 7 种毒素, 化学构造都近似于 Saxitoxin (见图)。



Saxitoxin 的化学构造 (Schantz et al, 1975)

罗德岛大学的 Shimizu 将它们命名为 Gonyautoxins。它们的毒性如同 Saxitoxin, 属于剧毒, 呈结晶态。一片药丸大小 (350 毫克), 分给 35 个人服用, 就足以使他们全部死

亡; 若是分给 350 个人, 就都会发生中度中毒。

七、未来的展望

今后对于贝类食物中毒的研究, 包括几个目标: 一是如何保证公众的健康; 二是如何更好地利用贝类食物; 三是找出 PSP 与日俱增的威胁、蔓延的原因, 及其是否可能受人类工业化活动的影响。

假使新发明一种检测 PSP 毒性的方法, 对第一及第二目标都会有帮助。小鼠注射的检验方法则不适用于实际情况; 一般渔民不可能在挖掘贝类动物之前去做什么小鼠测验。即使当地有管理人员, 也只有将采样送到一个管理站或中心实验室去。科学家们一直在研究一种简易的化学分析法, 使在贝类生长区现场便可以做出基本的决定, 看看是否应该挖掘。此外, 若是能将那些含有双鞭藻毒素的贝类动物去毒净化, 使它们可供食用, 也不失为一种好办法。最近有人发明将有毒的贝类曝露于臭氧 (Ozone) 中, 使其中的双鞭藻毒素破坏。这种净化过程可以不花太长的时间。在加拿大, 这种试验性的臭氧净化装置已经在几个贝类挖掘区设立起来了。

研究有毒双鞭藻赤潮如何发生、蔓延, 世界上许多地方的实验室已在进行了。由于有毒双鞭藻赤潮已经侵袭到前所未有的地区, 例如美国麻州南部及北西班牙, 科学家们正在各处严阵以待。有人认为, 这些有毒的双鞭藻在新近发生 PSP 的水域可能早已存在, 只是以前从未达到赤潮的程度。那么一个重要的问题就是: 这些新近发生的赤潮只是自然界长期过程中必有的现象, 但是以前没有被记录? 或者它们确实是最近才发生的? 假使答案属于后者, 那么近年来人类的工业化活动对水域的影响是严重的, 必须予以注意。

由于在沉积物表面发现了含有剧毒的双鞭藻休眠孢囊, 就不得不使我们越加提高警惕。凡是人工开辟滩涂养殖, 对贝类动物的引种栽培, 因各种工程而做的海底捞泥等, 都可能促使这种休眠孢囊的迁徙、扩散。贝类动物的引

种,尤要小心。因为微小的休眠孢囊很容易被贝类带到别的水域。休眠孢囊迁居新水域后,可以直接为当地的贝类所摄取,又可作为“接种源”,日后在当地可以永久地形成间歇发作的赤潮。

为了更好地收集双鞭藻赤潮的资料,便于深刻地了解其机制,已有不少科学家建议在全球设立赤潮联系网,以便互相支援,谋求防范及解决。

我国对赤潮的发生,目前各地可能有较零星的记载,但尚无系统的资料。有些地方虽有赤潮,但未做记录。有关此类的毒性和病情的调查、当时的浮游生物及贝类采样、海水物理化学性质、海流、水文等,皆缺乏调查资料。有毒双鞭藻可能以游动细胞的型式为贝类所摄取,亦可能以休眠孢囊状态被摄入动物体内。在上层或底栖的海洋动物皆可能以之为直接或间接的食物。日本全国各海域,近二十年来赤潮频频发生,南朝鲜、东南亚等地,亦见记载。我国占东亚地区海岸线的大部分,极可能有双鞭藻赤潮在不同海区发生。据报道全世界已发现约30种与赤潮有关的双鞭藻。由于邻近的日本发生PSP的双鞭藻 *Gonyaulax excavata*, *G. polyctra*, 及 *Gymnodinium breve*, 我国海域亦有可能遭受这些双鞭藻的赤潮

危害。建议对沿海地区渔民就这方面的基本知识进行教育,同时设立联络网,遇有情况,立即联系,并警告邻近水域;海洋环境保护部门要加强对这方面的监测,以保护人民健康,并对赤潮情况调查分析,进而研究其发生原因和机制,制定日后防范策略。

主要参考文献

- [1] Anderson, D. M. and F. M. M. Morel, 1978. *Limnol. Oceanogr.* 23:283—295.
- [2] Dale, B., C. M. Yentsch and J. W. Hurst, 1978. *Science* 201 (29): 1223—1225.
- [3] Huntsman, S. A. and W. G. Sunda, 1980. Morris, I. (ed) *University of California Press, Berkeley*, pp. 285—328.
- [4] Oshina, Y., L. J. Buckley, N. Alam and Y. Shimizu, 1977. *Com. Biochem. and Physiol.* 57: 31—34.
- [5] Prakash, A., J. C. Medcof and A. D. Tennant, 1971. *Bulletin 177, Fisheries Research Board of Canada*.
- [6] Pingree, R. D., P. R. Pugh, P. M. Holligan and G. R. Forster, 1975. *Nature* 258: 672—677.
- [7] White, A. W., 1981. *Limnol. Oceanogr.* 26: 103—109.



集约式养虾

“集约”一词,在农业上是指精耕细作。在对虾的养成上则不单是指目前“精养”意义上的细致管理和投饵等措施,而且还包括通过设备和技术手段来进一步控制水环境(如充气、水的循环净化或流水换水等),以求强化饲养设备的空间负载能力,提高放养密度,从而在有限的设备空间内获得很高的产量。因此,它实际上是一种高密度精养方式。

七十年代中期,国外就已进行集约式养虾的研究,并创造了一些用于集约式养虾的设备系统。目前已用于生产的有“茂野系统”和“Aquacell系统”。前者单茬每平方米可生产日本对虾2.1—2.6公斤,折合亩产为2797—3463市斤。预计在水温合适的地方,每年可生产两茬。后者单茬每平方米可收获太平洋白对虾2.7—3.3公斤,折合亩产为3596—4032市斤,每年可收获两茬到两茬半。(林如杰)

