

酸雨对渔业的影响

EFFECTS OF ACID RAIN ON FISHERIES

曹立业

(中国水产科学研究院, 北京 100039)
(Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100039)

Cao Li ye

关键词 酸雨, 渔业

KEYWORDS Acid rain, Fisheries

前言

酸雨已构成了世界性的环境问题, 特别是在美国、加拿大、北欧和西欧, 酸雨已对林业、渔业、农业和人体健康等造成了严重的危害, 其中对于渔业的危害尤为突出。

空气中的氮氧化物及二氧化硫在大气中经过复杂的化学反应, 形成酸性化合物, 以雨、雪等形式降到地面, 形成酸雨。工业革命之前, 氮、硫化合物在自然界中的变化主要是与自然界自身的活动相关的。随着人类活动的增强, 特别是工业的迅速发展, 煤、石油用量的急剧增加, 向大气中排放大量的二氧化硫和氮氧化物。欧洲每年二氧化硫的排放量约 7000 万吨, 英国约 500 万吨, 我国为 2500 多万吨^[1]。这就造成了世界上许多国家, 也包括我国在内, 酸雨频繁发生。美国、加拿大、北欧等国水生生态受到严重破坏, 酸雨对我国水生生态及渔业的可能影响不容忽视。

酸雨对水环境的影响

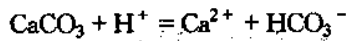
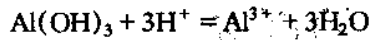
酸雨对水环境的影响表现为河流和湖泊的酸化。造成河流及湖泊酸化的机理是十分复杂的, 它与降雨量及雨水的 pH 值直接相关, 也与其汇水区的大小及周围土壤、岩石、地形地貌、陆生植被相关, 与湖泊自身的缓冲能力即碱性大小相关, 一般认为初始碱度小于

收稿日期: 1995-12-30。

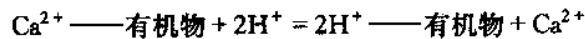
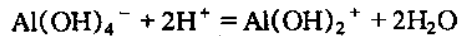
200 $\mu\text{eq/L}$ 的水体是对酸雨敏感的水体。

酸雨在湖泊酸化过程中与介质的反应主要有以下三种：

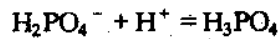
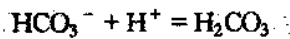
A. 岩石和矿物的溶解



B. 阳离子交换



C. 碱性降低



反应 A、B 主要适于土壤，反应 C 主要适于表层水。

酸化的初期，水的 pH 值下降非常缓慢，水中的金属水平也很低，酸化现象不易为人们所察觉，但是，一旦缓冲能力消失，水的 pH 值就会迅速下降，湖泊酸化的这种过程有人称之为“滴定曲线”。湖泊中水的 pH 值由原来的 6-8 下降 1-2 个单位大约需要十年以上的时间，对美国缅因州的 1368 个湖泊及挪威、瑞典一些湖泊 pH 值的分析表明，大部分湖泊的酸化时间在 10-40 年之间。见图 1^[2]和表 1^[3]。

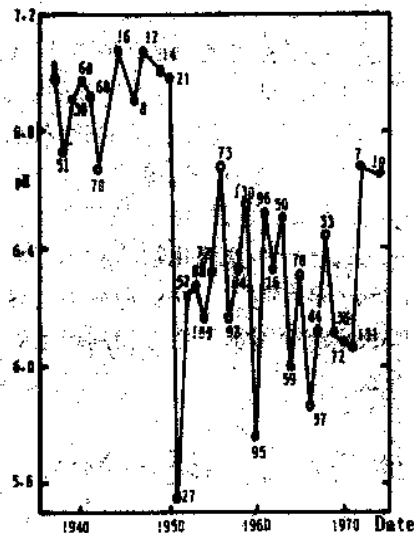


表 1 部分国家湖泊酸化所需时间

Table 1 Date of acidification of lakes in countries

地区 Region	湖数 Lakes	早期 pH 值 Early pH	后期 pH 值 Later pH	pH 降低 pH decrease	年数 Years
挪威 S. Norway	6	6.7(1946)	4.9(1975)	1.7	29
瑞典中南部 C. S. Sweden	23	6.8(1951)	5.0(1974)	1.8	23
瑞典西部 W. Sweden	21	7.2(1966)	4.5(1975)	2.7	9
加拿大 安大略省 Ont. Canada	9	7.4(1966)	4.1-5.0(1971)	2.4-3.3	5
美国阿弟伦达克山区 Adirondacks, U. S.	14	7.6(1950)	5.0(1979)	1.6	29

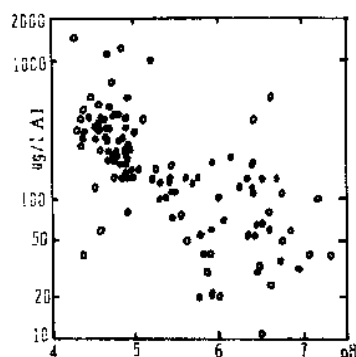


图 2 湖泊 pH 值与 Al 浓度的关系

Fig. 2 Relation between Al and pH at high altitude in the Adirondack Mountains, N. Y.

酸性水体对水生生物的危害

酸性水体会对水生生物产生严重危害。生物种类和数量减少,生物多样性降低,在 pH 值很低时,几乎所有的鱼类和水生生物都会消失,只有丝状藻和真菌可能在湖底存在,水体显得非常明彻。不同 pH 时水生生物存活情况见图 3。

从图 3 可见,在低 pH 时,水生生物种类和数量大为减少,许多生物在低 pH 的酸性水中都无法存活,其中软体动物最为敏感,pH 值大约在 5.5 以下会全部死亡;pH 值在 4 以下时,鱼类已无法存活。

Magnuson 等人^[5]分析了大量的资料,对于北美的 40 种鱼的消亡与水体 pH 值的关系给出了一个统计结果。他们认为,在这 40 种鱼类中,当水体 pH 值小于 6 时,大约有 5 种鱼类消失;水体 pH 值小于 5.5 时,有 11 种鱼类消失。水体 pH 值小于 5 时,有 21 种鱼类消失;水体小于 pH4.5 时,有 32 种鱼类消亡;水体 pH 值小于 4 时,这 40 种鱼类全部消亡。

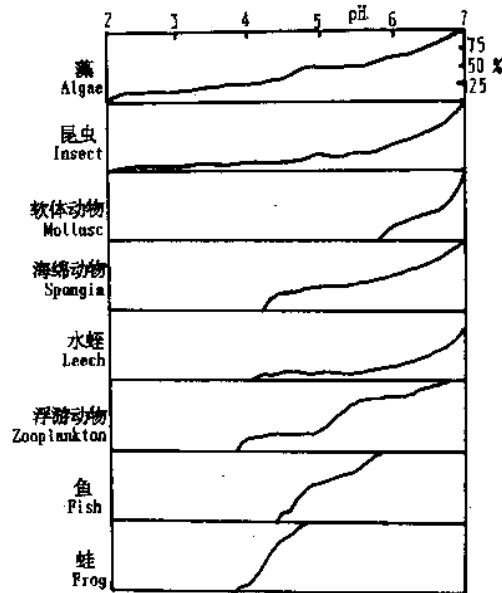


图3 不同 pH 时水生生物存活情况

Fig.3 Survival of hydrobious organisms for different pH

一般认为,淡水鱼类生存的 pH 范围是 4-10,安全范围是 5-9,最高生产力范围是 6.5-8.5,弱碱性水质对鱼类的生长是有利的,鱼类不适于在酸性环境中生活。Alabaster^[6]等给出了不同 pH 时,鱼类的存活和繁殖情况,见表 2。

表 2 不同 pH 时鱼的存活和繁殖情况

Table 2 Survival and breed of fishes for different pH

pH 范围 Range	存活和繁殖 Survival and breed
9.0-6.5	鱼的存活繁殖完全正常,对鱼无害。
6.5-6.0	水中 CO ₂ 浓度不超过 100mg/l 时,对任何鱼的存活繁殖无害。
6.0-5.0	如果水中 CO ₂ 浓度不超过 20mg/l 或不含有刚刚生成的铁盐沉淀,不会对鱼的存活产生危害,但对少数鱼的繁殖有害。
5.0-4.5	对鲑科鱼和鲤科鱼的鱼苗、鱼卵有害,一些种类鱼无法成功繁殖。
4.5-4.0	未经低 pH 驯化的鲑科鱼和鲤科鱼幼鱼难以长期存活,随鱼龄和个体的增大,对酸的抵抗力亦增加,可以在此范围内驯化,存活,但大多数鱼不能成功繁殖,只有狗鱼可能繁殖。
4.0-3.5	是鲑科鱼的致死范围,几乎所有的鱼都不能成功地繁殖,拟鲤、丁鲷、鲈鱼、狗鱼经过低 pH 驯化后,可以在此范围内存活一段时间。
3.5-3.0	任何鱼存活不超过几个小时,完全不能繁殖。

酸性条件下鱼类死亡的机理目前尚不十分清楚,但一般认为,主要是鱼鳃上皮细胞被破坏造成鱼的窒息死亡,鱼体血液 pH 值降低造成酸中毒,血液中 Na⁺ 平衡遭到破坏,无法调节渗透压,低 pH 值也降低了鱼类对疾病的抵抗力,易生病死亡。

酸性水体使鱼类的死亡和繁殖失败,除了酸碱度对鱼类的直接影响之外,由于 pH 值降低,造成水质其它因子的改变也会对鱼类的毒性产生影响。酸在含有碱性碳酸盐的水中会产生 CO₂,尽管水的 pH 值没有低到致死水平,但高浓度的 CO₂ 也会使鱼类死亡。例如,当水中 CO₂ ≤ 10mg/l 时,虹鳟鱼种 15 天的半致死 pH 值为 4.7,但是,当 CO₂ ≥ 20mg/l 时,半

致死 pH 值为 5.7。此外,水体被酸化后,所产生的大量的 Al^{3+} 对鱼有极大的毒性,浓度为 150mg/l 的 Al^{3+} 足以使鳟鱼急性中毒死亡。许多专家认为 Al^{3+} 是酸化湖泊中鱼类死亡的重要原因。此外,水中可溶性 Fe、Mn、Cu、Ni、Pb 等重金属水平也都有所增加,也增加了对于鱼的毒性。水中 Ca^{2+} 可以减轻毒性,水中柠檬酸、腐殖质由于具有一定的络合作用,对于 Al^{3+} 及其它重金属的毒性也都有有一定的缓解作用。

酸雨对渔业资源的影响

由于酸雨使河流、湖泊酸化,造成美国和欧洲许多河流和湖泊中鱼类大批死亡,甚至种群消失。据报导^[7,8,9],酸雨已使瑞典 2000 个湖泊中的鱼类几乎全部消失,10000 个湖泊中的鱼类数量和种类急剧下降,5000 个湖泊需要定期注入石灰,有人估计到本世纪末,瑞典可能会有 4800 个湖泊“死亡”。挪威南部 5000 个湖泊中有 1750 个鱼类消失,对 900 个造成了严重影响。加拿大有 5300 多个湖泊被酸化,其中安大略省约有 4000 个湖泊几乎看不到鱼类的踪迹。雨后或雪化时,常见湖面浮着大量的死鲈鱼和大麻哈鱼,美国东北地区新英格兰州和纽约州等 9 个州 27 个地区的 17059 个湖泊已有 9423 个受到影响。

Almer^[10]等对瑞典的 100 个酸化湖泊鱼的种群分析表明,444 个种群已有 53 个(占 15%)已经消失,另一些种群也日见减少,见表 3。Sevaldrud 等^[11]对挪威南部的 2840 个湖泊中的约 3365 个种群分析表明,1711 个种群已经消失,941 个正在减少,见表 4。

表 3 瑞典 100 个湖泊酸化的结果(1978)
Table 3 Effects of acidification in 100 Swedish lakes

种类 Species	原先 种群数 Number of previous stocks	现有 种群数 Number of remaining stocks	种群 变化数 Stocks acidification number	消亡 % Extermi- nated by(%)	繁殖 pH 临界值 pH critical for reproduction
鳟 (<i>Phoxinus phoxinus</i>)	28	16	12	43	≤5.5
拟鲤 (<i>Rutilus rutilus</i>)	77	52	25	32	≤5.5
北极红点鲑 (<i>Salvelinus alpinus</i>)	36	25	7	19	≤5.2
鳟 (<i>Salmo trutta</i>)	28	24	4	14	<5.0
欧白鲑 (<i>Coregonus albula</i>)	21	19	2	10	<5.0
白斑狗鱼 (<i>Esox lucius</i>)	79	72	7	9	4.4-4.9
河鲈 (<i>Perca fluviatilis</i>)	99	95	4	4	4.4-4.9
鳗鲡 (<i>Anguilla anguilla</i>)	76	73	2	4	≈4.5

表 4 挪威南部 2840 个湖泊鱼的种群变化(1980 年)

Table 4 Present status for 3365 fish population from 2840 lakes in south of Norway

	鳟 鱼 (<i>Salmo trutta</i>)	河 鲈 (<i>Perca fluviatilis</i>)	湖红点鲑 (<i>Salvelinus namaycush</i>)
良好的种群 Good populations	597	200	47
稀少种群 Sparse populations	760	97	25
消亡种群 Loss of populations	1454	118	30
无数据 No data on status	12	16	8
总数 Total	2823	431	110

对挪威南部受到酸化的 7 条河流和未被酸化的 68 条河流大麻哈鱼产量近行比较,发现未被酸化的河流的大麻哈鱼多年产量稳定,而受到酸化的河流产量逐年下降,60 年代后期以来已完全捕不到大麻哈鱼。

酸雨对渔业资源的破坏是由于在酸性水体中鱼类繁殖能力衰退和丧失,许多实验结果表明,在酸性水中鱼类的性腺发生变异,精、卵的产生减少,特别是仔稚鱼大量死亡和对鱼卵孵化的破坏,影响了鱼类群体的补充。

小 结

综上所述,酸雨已造成世界上许多国家的河流、湖泊被酸化,水体毒性增加,水生生物受到破坏,生物多样性减少,生物种类和数量大大下降,鱼类大批死亡,渔业资源受到严重破坏。教训是十分惨痛的。

我国是世界上酸雨较重的国家之一。据全国近 200 个监测站的监测结果表明,我国的酸雨主要分布在秦岭、淮河以南地区,包括四川、贵州、湖南、广西、江西、上海、浙江、福建一带,江苏省的酸雨面积已占全省土地总面积的 84% [12]。我国一些地区降水的年均 pH 值低于 4.5,与北美、北欧和日本的重酸雨相近。酸雨已使我国部分地区土壤酸化,森林植被受到破坏。我国酸雨较重的地区,土壤主要为红壤、黄壤,呈酸性或弱酸性,这种土壤对于酸雨的缓冲能力很低,河流和湖泊易被酸化。虽然目前我们尚未发现已被明显酸化的河流和湖泊,但绝不能认为以后不会被酸化,因为酸化是一个较长的过程,需要十几年甚至几十年的时间。但是,一旦水体的缓冲能力消失,其酸化过程就会大大加快,pH 值的下降就会明显表现出来。我国的鱼类以鲤科鱼类为主,而鲤科鱼类比其它鱼类对酸性的反应更敏感,受 pH 影响的阈值为 6.5-6.0 [12]。在以后相当长的时期内,我国的能源结构仍然会以煤碳为主,燃煤会使大量的 SO₂ 排入大气中,而要减少 SO₂ 的排放要花费巨额资金,据报导欧洲要减少 60%-80% 的 SO₂ 排放物,每年需耗 190-310 亿美元,占欧洲国民生产总值的 0.5-0.8%。我国目前为减少 SO₂ 排放量投入如此大的资金是十分困难的,因此,酸雨问题在我国会长时期存在。酸雨对我国渔业的潜在威胁应引起高度重视,一旦河流、湖泊被酸化将难以治理,渔业资源将受到严重破坏,其后果是十分严重的,必须予以高度关注。

参 考 文 献

- [1] 陈江涛、任同光,1994。SO₂ 污染防治对策。上海环境科学,13(3):1-3
- [2] 曹洪法,1984。酸雨对生态的影响。中国环境科学,4(3):24。
- [3] 石弘之,1985。威胁世界的酸雨。环境科学动态,12:24-27。
- [4] 石弘之,1984。世界性的严重酸雨问题。环境科学动态,4:19-21。
- [5] 江研因,王素芸,1992。上海地区酸雨趋势及其影响。上海环境科学,11(1):24-26。
- [6] 平石君彦,1983。酸性雨に係る国际动向。环境技术,12(12):50-56。
- [7] Davis, R. B. et al. 1978. Acidification of Maine (U. S. A.) lakes by acidic precipitation. *Vern. Int. Verein. Limnol.* 20:532.
- [8] Schofield, C. L., 1976. Dynamics and management of Adirondack fish populations. Final Rep. Proj. Number F - 28 - R. State of New York.
- [9] J. J. Magnuson, J. P. Baker & E. J. Rahel, 1984. A critical assessment of effects of acidification on fisheries in North America. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 305, 501 - 516.
- [10] Alabaster, J. S. & Lloyd, R., 1980. Water quality criteria for freshwater fish. pp. 21 - 45. London: Butterworths.
- [11] Almer, B., Dickson, W., Ekstrom, C. & Hornstrom, E., 1978. Sulfur Pollution and the aquatic ecosystems. In *Sulfur in the environment, Part II* (ed. J. Nriagu), pp. 273 - 311.
- [12] Sevaldrud, I. H. & Muniz, I. P., 1980. Sure vatn og innlandsfisket i Norge. Resultater fra intervjuundersokelsene 1974 - 79 (Acid lakes and the inland fisheries in Norway. Results from interview studies 1974 - 79.) S. N. S. F - project, IR 77 - 80, 1 - 92.