

サケ科魚類の餌料生物の耐酸性評価

誌名	養殖研究所研究報告 = Bulletin of National Research Institute of Aquaculture
ISSN	03895858
著者名	生田,和正 長野,正嗣 鹿間,俊夫 中村,英史 北村,章二 奥本,直人
発行元	水産庁養殖研究所
巻/号	22号
巻号補足	
掲載ページ	p. 43-48
発行年月	1993年3月

サケ科魚類の餌料生物の耐酸性評価

生田和正・長野正嗣・鹿間俊夫・中村英史
北村章二・奥本直人

(1993年2月3日受理)

Acid Tolerance of Prey Organisms for Salmonid Fish

Kazumasa Ikuta^{*1)}, Masatsugu Nagano^{*1)}, Toshio Shikama^{*1)}, Hidefumi Nakamura^{*1)},
Shoji Kitamura^{*1)}, and Naoto Okumoto^{*2)}

In order to examine the effects of acidification on cold-water benthic invertebrates which are prey organisms for salmonid fish, an acid tolerance assay was conducted. Sensitivity to low pH (lethal pH to 50% mortality at 24 hours; 24hLC₅₀pH) was compared among 6 benthic invertebrate species. Species sensitivities were ranked as *Baetis* (4.13) > *Limnodrilus* (3.77) > *Protonemura* (3.00) > *Asellus* (2.37) > *Stenopsyche* (2.13) > *Diamesa* (2.03). These results suggest that the above prey invertebrates have higher tolerance of acidity than do salmonid fishes, and that mobile species, i.e. *Baetis* and *Protonemura* are more sensitive to acidic conditions.

Key words: acid tolerance, cold-water benthic invertebrates, prey species, salmonid fish, 24hLC₅₀pH

近年、工業排気ガス等によって生じる酸性雨等による地球規模の環境破壊が問題となっている。酸性降下物による陸水の酸性化は、生態系を構成する水生生物に大きな被害を及ぼすことが知られている (Beamish *et al.* 1975; Farmer *et al.* 1980)。陸水生態系に及ぼす酸性化の影響を予測し、環境の変化を評価するためには、生息生物の持つ耐酸性を明らかにし、指標生物として類型化する必要がある。これまでに著者らは冷水域生態系に及ぼす酸性化の影響を解明するために、代表的冷水魚であるサケ科魚類の耐酸性を比較した (生田ら 1992)。しかし、魚類の資源量に及ぼす酸性化の影響をさらに詳細に解明するためには、魚類に対する直接の影響の他に、陸水生態系における食物連鎖全体に及ぼす影響を調べ、間接的な因果関係も把握する必要がある。サケ科魚類の餌料生物である水生昆虫を中心とした冷水性底生無脊椎動物は、水質汚染の生物指標として細かく調べられ、類型化されているが (津田 1972; 津田・森下 1974)、酸性環境に対する耐性に関しては未だ不明な点が多い。

本研究では、水産庁養殖研究所日光支所構内で採取した水生昆虫4種の幼虫、甲殻類1種及びイトミミズ類1種について、24時間半数致死 pH (24hLC₅₀pH) を調べ、これを指標としてそれらの耐

^{*1)} 養殖研究所日光支所 (Nikko Branch, National Research Institute of Aquaculture, Nikko, Tochigi 321-16, Japan)

^{*2)} 日本水産資源保護協会 (Japan Fisheries Resource Conservation Association, Toyomi, Chuo-ku, Tokyo 104, Japan)

酸性を推定・比較し、環境水の酸性化が冷水域生態系に及ぼす影響を考察した。

材 料 と 方 法

供試生物 本実験では、養殖研究所日光支所構内の水路において8から10月にかけて採取した水生昆虫、カゲロウ目のコカゲロウ類 *Baetis* sp. F, カワゲラ目のユビオナシカワゲラ類 *Protonemura* sp., トビケラ目のヒゲナガカワトビケラ *Stenopsyche marmorata*, 双翅目のヤマユスリカ類 *Diamesa* sp. の幼虫及び、甲殻類等脚目のミズムシ類 *Asellus* sp., 貧毛類原貧毛目のユリミミズ類 *Limnodrilus* sp. を用いた。属・種の同定は、川合 (1985), 多田ら (1991), 上野ら (1991) の資料を参考として行った。

飼育及び耐酸性評価の方法 実験には、既報 (生田ら 1992) のサケ科魚類の耐酸性評価に用いたのと同じ装置を使用した。実験動物は 100 l 水槽内に設置したガラスシャーレーに収容し、自然湧水を用いて流水飼育した。1 回の実験当たり、各実験動物 20~80 個体を使用し、採取・分別後直ちに実験水槽内に移し、各 pH での死亡個体数を経時的に数えた。この結果得られた生残曲線より、各 pH における 50% 致死時間 (T_{50}) を推定した。その値と飼育水水素イオン濃度との相関を両対数直線一次回帰で検定し、各動物種の 24hLC₅₀pH を算出した。

飼育水の水質 実験期間中、飼育水の水温、pH 及び溶存酸素量を測定した。pH の設定には約 3.6 規定の希硫酸を滴下し、pH 調整機 (日伸理化 NPH-680 D) によって pH を一定に調整した。飼育水の曝気及び攪拌のため通気を行った。飼育水 pH は ± 0.1 の変動内で安定していた。飼育水中に含まれる金属イオン (Ca, Mg, Na, K) 濃度を原子吸光分光光度計 (日立 180-50) で測定した。また、飼育水中の総アルカリ度は、飼育水 100 ml に 0.02 N 硫酸を滴下し pH 4.8 となったときの消費硫酸 ml 数を CaCO₃ ppm 相当量として求めた。

結 果

供試生物の耐酸性 各実験から得られた、各供試動物の T_{50} と飼育水の pH との相関を示す一次回帰直線を、Fig. 1 に示した。相関係数 (r) は、コカゲロウ-0.994, ユビオナシカワゲラ-0.994, ヒゲナガカワトビケラ-0.983, ヤマユスリカ-0.984, ミズムシ-1.000, ユリミミズ-0.986 となり、全ての場合において有意に相関が認められた。この結果から、各供試動物の回帰直線で T_{50} の 24 時間に対応する pH の値 (24hLC₅₀pH) とその 95% 信頼限界を求めたところ、Fig. 2 に示したように、コカゲロウで 4.13 ± 0.13 , ユビオナシカワゲラで 3.00 ± 0.08 , ヒゲナガカワトビケラで 2.13 ± 0.18 , ヤマユスリカで 2.03 ± 0.18 , ミズムシで 2.37 ± 0.02 , ユリミミズで 3.77 ± 0.12 であった。この結果から、水生昆虫においてはカゲロウは酸性環境に対して比較的弱く、トビケラ、ユスリカは極めて高い耐酸性を有することが判明した。カワゲラは、これらの中に位置した。また、甲殻類のミズムシは高い耐酸性を示した。イトミミズの一つであるユリミミズは、比較的耐酸性が低く、pH 3.4 以下の強酸性環境下で急速な上皮の壊死が観察された。

飼育水の水質 実験期間中の飼育水の水温及び pH は、それぞれ $10.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$, 7.4 ± 0.1 とほぼ一定で、溶存酸素量も全ての実験で飽和値の 95% 以上であった。飼育水に含まれる金属イオン濃度は、Ca 3.57 ppm, Mg 2.61 ppm, Na 6.16 ppm, K 1.48 ppm であった。飼育水の総アルカリ度は 43 CaCO₃ ppm であった。

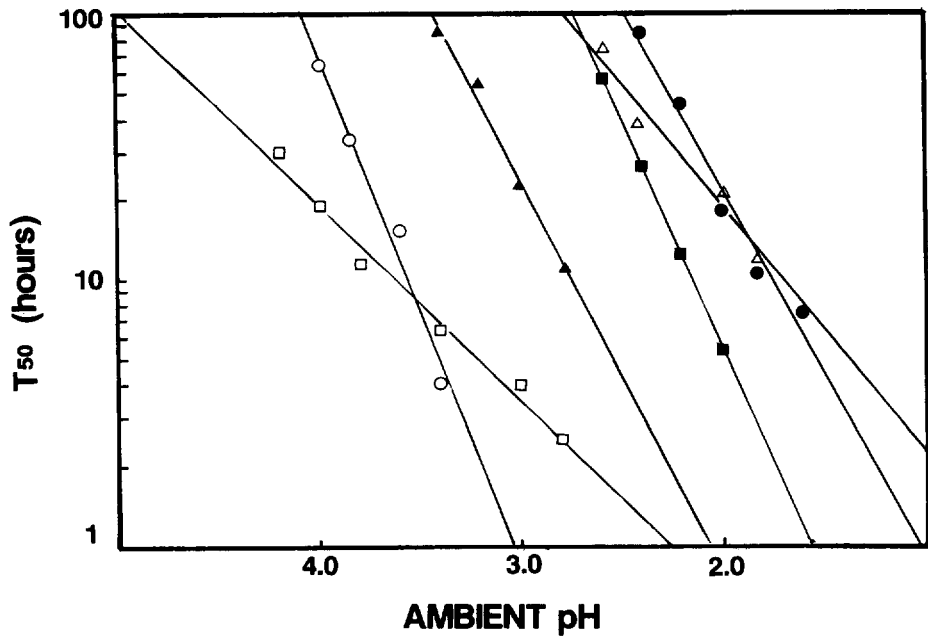


Fig. 1 Regression lines of correlation between time to 50% mortality and ambient pH for *Baetis* (—□—; $p < 0.001$), *Protonemura* (—▲—; $p < 0.01$), *Stenopsyche* (—△—; $p < 0.05$), *Diamesa* (—●—; $p < 0.01$), *Asellus* (—■—; $p < 0.001$), *Limnodrilus* (—○—; $p < 0.05$).

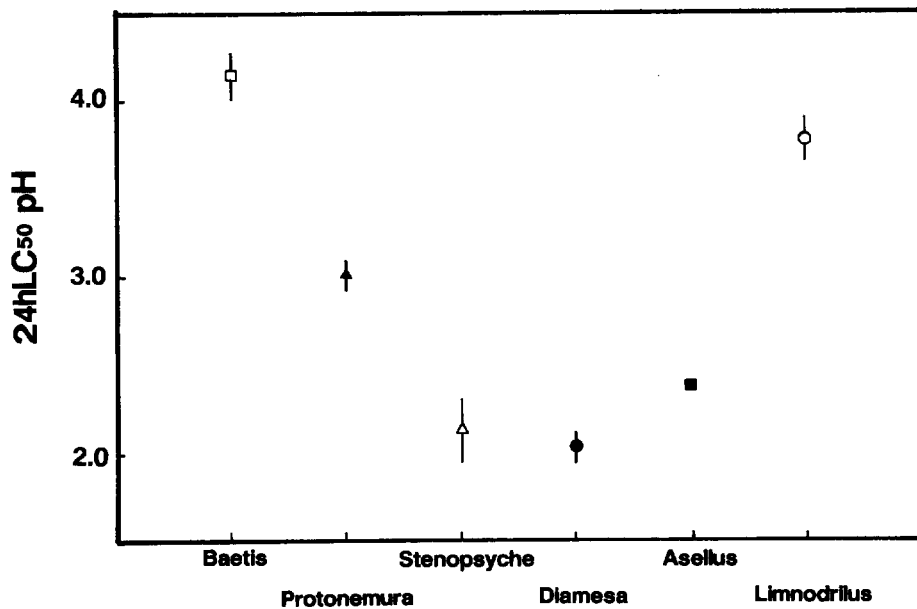


Fig. 2 24hLC₅₀pH for *Baetis*, *Protonemura*, *Stenopsyche*, *Diamesa*, *Asellus*, *Limnodrilus*. Vertical lines indicate 95% confidence limits.

考 察

サケ科魚類と餌料生物の耐酸性の比較 供試した餌料生物の 24hLC₅₀pH を種間で比較すると、コカゲロウ (4.13) > ユリミミズ (3.77) > ユビオナシカワゲラ (3.00) > ミズムシ (2.37) > ヒゲナガカワトビケラ (2.13) > ヤマユスリカ (2.03) という順になった。これらをその捕食者であるサケ科魚類の値 3.63~4.07 (生田ら 1992) と比較すると、水生昆虫のコカゲロウはやや高く、ユリミミズでは同等という結果となったが、その他の底生動物は全体的に極めて低い LC₅₀pH (高い耐酸性) を示した。このことは、サケ科魚類の資源量に及ぼす酸性化の影響は、餌生物資源量を介した間接的影響よりも、魚体そのものに及ぼす直接的な影響のほうが先に起こる可能性を示している。

耐酸性の類型化 本実験でコカゲロウは低い耐酸性を示した。自然酸性河川における観察においても、カゲロウ類はカワゲラ類やトビケラ類に比べて低い耐酸性を示し、pH 5.7 以下の河川での現存量の低下あるいは消失が報告されている (Sutcliffe and Carrick 1973; Leivestad *et al.* 1976; Harrimann and Morrison 1982)。

ユリミミズ等のイトミミズ類は、ユスリカと同様我が国の代表的酸性湖である田沢湖 (秋田県 1986) や猪苗代湖 (横山 1979) の優占種であるが、本実験では比較的低い耐酸性を示した。イトミミズ類には耐酸性がなく、pH 5.3 で減少することが報告されている (Roff and Kwiatowski 1977)。しかし、酸性湖の 20 m 以深にはイトミミズ類が生息しないが、0.5 m の浅水部では逆に個体数が増え、硫酸塩 (SO₄²⁻) 濃度と正の相関があったという報告もある (Raddum 1980)。今回の実験中、ユリミミズでは上皮が pH 3.4 以下の強酸性下で急速に壊死したことなどから、個体の持つ耐酸性は低いように思われるが、実際の自然環境では生息域等を変えることによって耐酸性を高めているのかもしれない。また、種による耐酸性の比較も詳しく行う必要がある。

一方、カワゲラ、トビケラ類は自然河川において、酸性化の影響は明瞭でないと報告されている (Harrimann and Morrison 1982)。本実験では、ヒゲナガカワトビケラは高い耐酸性を示したが、ユビオナシカワゲラはトビケラやユスリカに比べ耐酸性が劣った。しかし、24hLC₅₀pH の値は 3.00 と比較的 low 値を示しているため、自然の弱酸性環境下では影響がでにくいかもしれない。

底生甲殻類であるミズムシは、本実験ではかなり高い耐酸性を示した。ミズムシは酸性化の影響を受け pH 4.8 以下の湖沼には生息しなくなるという報告があるが (Økland 1980), Zischke (1983) は実験的に酸性化 (pH 5) した水路でかえって現存量が増加したことを報告しており、個体群で耐酸性に変異があるように思われる。

ユスリカは、本実験で極めて高い耐酸性を示したが、自然環境においても耐酸性が高いことが知られており、現存量と pH の値には相関がないことが報告されている (Raddum and Saether 1981; Kelso *et al.* 1982)。このことから、かなり酸性化が進んだ湖沼・河川ではユスリカが優占種となると生息すると思われる。

津田 (1972)、津田・森下 (1974) は、底生動物を水質汚濁の生物指標として類型化しているが、トビケラ類は最も貧腐水性環境を好むのに対し、本実験ではトビケラは高い耐酸性を示した。これらの結果は、水質汚濁の指標生物表がそのまま酸性化評価にはあてはまらず、新たな類型化が必要であることを強く示唆している。

サケ科魚類の耐酸性は、回遊性の強い種で低く、河川生活性の強い魚類ほど高い傾向にあることが明らかにされている (Rombough 1983; 生田ら 1992)。本実験でも、カゲロウ、カワゲラといった移動性の強い種は比較的低い耐酸性を示し、ユリミミズを例外として、トビケラ、ユスリカ、ミ

ズムシといった移動性の少ない種は高い耐酸性を示した。これらの結果から、河川生物の耐酸性は生活様式と深く相関があるように思われる。このことは、河川生息生物がその環境に適応してきた進化の過程で、火山活動等による自然河川の酸性化が淘汰要因として作用してきた可能性を示すと考えられる。

24hLC₅₀pH 法による耐酸性評価手法 得られた耐酸性評価の結果は、既知の自然環境における酸性化の影響調査の結果を反映していた。このことから、24hLC₅₀pH を用いた評価法は種間の耐酸性を比較し、酸性化による生物組成変化を推定するのに有効であると言える。しかし、自然環境下での資源量変化は、生物の酸に対する忌避行動 (Hall *et al.* 1980; Hall and Likens 1981) や種間関係等多くの要因が関与するため、陸水生態系への酸性化の長期的影響を解析するには、さらに詳細な研究が必要である。

謝 辞

本論文を作成するにあたり、御校閲、御助言を賜った養殖研究所日光支所長福所邦彦博士に深く感謝の意を表する。

本研究は、環境庁「地球環境研究総合推進費」によって行われた。

文 献

- 秋田県内水面水産指導所 1986. 昭和60年度秋田県内水面水産指導所事業報告書: 103-105.
- Beamish, R., W. Lockhart, J. Van Loon and H. Harvey 1975. Long-term acidification and resulting effects on fishes. *Ambio* 4: 98-102.
- Farmer, G. J., T. R. Goff, D. Ashfield and H. S. Samant 1980. Some effects of acidification of Atlantic salmon rivers in Nova Scotia. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 972: p. 13.
- Hall, R. J. and G. E. Likens 1981. Chemical flux in an acid-stressed stream. *Nature* 292: 329-331.
- Hall, R. J., G. E. Likens, S. B. Fiance and G. R. Hendrey 1980. Experimental acidification of a stream in Hubbard brook experimental forest, New Hampshire. *Ecol.* 61: 976-989.
- Harrimann, R. and B. R. S. Morrison 1982. Ecology of streams draining forested and non-forested catchments in an area of central Scotland subject to acid precipitation. *Hydrobiol.* 88: 251-263.
- 生田和正・鹿間俊夫・織田三郎・奥本直人 1992. サケ科魚類の発眼卵と稚魚の耐酸性評価. 養殖研報 21: 39-45.
- 川合楨次編 1985. 日本産水生昆虫検索図説. 409 pp. 東海大学出版会, 東京.
- Kelso, J. R. M., R. J. Love, J. H. Lipsit and R. Dermott 1982. Chemical and biological status of headwater lakes in the Sault Ste. Marie district, Ontario. Acid precipitation; Effects on ecological systems (D'Itri, F. M. ed.) Ann Arbor Science, Michigan, USA; 165-207.
- Leivestad, H., G. Hendrey, I. P. Muniz and E. Snekvik 1976. Effects of acid precipitation on freshwater organisms. Impact of acid precipitation on forest and freshwater ecosystems in Norway. SNSF Project, Res. Rep. FR6. Oslo, Norway: 87-111.
- Økland, K. A. 1980. Ecology and distribution of *Asellus aquaticus* in Norway. Including relation to acidification in lakes. Internal Rep. 52/80, SNSF Project, Oslo, Norway.
- Raddum, G. G. 1980. Comparison of benthic invertebrates in lakes with different acidity. Ecological impact of acid precipitation (Drablos, D. and A. Tollan eds.) SNSF Project, Norway: 330-331.
- Raddum, G. G. and O. A. Saether 1981. Chironomid communities in Norwegian lakes with different degrees of acidification. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 21: 399-405.
- Roff, J. C. and R. E. Kwiatkowski 1977. Zooplankton and zoobenthos communities of selected Northern Ontario

- lakes of different acidities. Can. J. Zool. 55: 899-911.
- Sutcliffe, D. W. and T. R. Carrick 1973. Studies on mountain stream in the England lake district. Freshwater biol. 3: 437-462.
- 多田 満・上野隆平・岩熊敏夫 1991. 奥日光外山沢川の水質変動特性. 奥日光地域の環境と生物. 環境庁国立環境研究所・奥日光環境観測所資料 (1988-1990): 21-34.
- 津田松苗 1972. 汚水生物体系論. 水質汚濁の生態学, 240pp. 公害対策技術同友会, 東京.
- 津田松苗・森下郁子 1974. 生物による水質調査法. 238pp. 山海堂, 東京.
- 上野隆平・多田 満・岩熊敏夫 1991. 奥日光外山沢のユスリカ相. 環境庁国立環境研究所・奥日光環境観測所資料 (1988-1990): 35-40.
- 横山宣雄 1979. 猪苗代湖の底生動物群集の生産力に関する基礎的研究. 福島県内水面水産試験場研究報告 3: 93-98.
- Zischke, J., J. W. Arthur, K. J. Norlie, R. O. Hermanutz, D. A. Standen and T. P. Honry 1983. Acidification effects on macroinvertebrates and fachead minnows (*Pimephales promelas*) in outdoor experimental channels. Water Res. 17: 47-63.