

低酸素下におけるウグイ,ゲンゴロウブナ,ギンブナ,ブラックバス,カマツカの酸素消費量の変化

誌名	水産増殖 = The aquiculture
ISSN	03714217
著者	山元, 憲一 平野, 修 伊賀上, 龍夫
巻/号	34巻3号
掲載ページ	p. 179-183
発行年月	1986年12月

低酸素下におけるウグイ, ゲンゴロウブナ, ギンブナ, ブラックバス, カマツカの酸素消費量の変化

山元 憲一・平野 修・伊賀上 龍夫
長島 浩・雷田 俊明
(水産大学校増殖学科)

Changes of Oxygen Consumption in the Gengorou-funa, Gin-funa,
Largemouth Bass and Kamatuka under Progressive Hypoxia

Ken-ichi YAMAMOTO, Osamu HIRANO, Tatsuo IGAGAMI,
Hiroshi NAGASHIMA and Toshiaki RAITA

Abstract

It was studied on the changes of oxygen consumption in the Ugui *Tribolodon hakonensis*, Gengorou-funa *Carassius carassius cuvieri*, Gin-funa *Garassius carassius langsdorfii*, Largemouth bass *Micropterus salmoides* and Kamatuka *Pseudogobio esocinus* under progressive hypoxia.

Oxygen consumptions in the Gengorou-funa and Gin-funa, Largemouth bass, and Ugui kept the same levels as the normoxic those under the hypoxia, and gradually decreased at below 25, 50 and 60 % in oxygen saturation, respectively. But it in Kamatuka increased a little under the hypoxia, and rapidly decreased at below 14 %.

HUGHES¹⁾は魚類の低酸素下における酸素消費量の変化を、環境水の酸素飽和度が低下するとあるところまでは正常状態での酸素消費量を維持し、更に低下すると減少する種類と環境水の酸素飽和度の低下に伴って酸素消費量が減少する種類とに分けている。Brawn bullhead, ブルーギル, ニジマス²⁾, Dogfish³⁾, ウナギ, ティラピア, ドジョウ⁴⁾では前者の変化を示している。これらの魚種では酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度以下の水域では十分な酸素量を摂取できず、酸素不足が原因で種々の活動が制約される。極端な場合には

アユ⁴⁾で認められるように、酸素飽和した水中での代謝量に相当する酸素量を摂取できなくなれば、低酸素下における酸素消費量の減少する過程を示さずに直ちに窒息死する。

著者らはウグイ, ゲンゴロウブナ, ギンブナ, ブラックバス, カマツカを用いて、環境水の酸素飽和度の低下に伴う酸素消費量の変化を調べた。

材料および方法

供試魚にはウグイ *Tribolodon hakonensis* (体重 297 ± 35 g, 全長 322 ± 10 mm, 24 個体) (M \pm SD 以降同様に表わす), ゲンゴロウブナ *Carassius carassius cuvieri* (体重 213 ± 43 g, 全長 249 ± 29 mm,

連絡先: 〒759-65 下関市吉見永田本町1944

水産大学校増殖学科 山元憲一

Address: K. YAMAMOTO, Shimonoseki Univ. Fish.,
Yoshimi, Shimonoseki, 759-65

15個体), ギンブナ *Carassius carassius langsdorfii* (体重 84 ± 14 g, 全長 183 ± 11 mm, 24個体), ブラックバス *Micropterus salmoides* (体重 31 ± 16 g, 全長 135 ± 19 mm, 18個体) およびカマツカ *Pseudogobio esocinus* (体重 33 ± 10 g, 全長 167 ± 13 mm, 30個体) を用いた。ブラックバスは水産大学校近くの池で採取後, 他の魚種は同校小野臨湖実験実習場近くの小野ダム湖および厚東川で採取して同実験実習場で1~6か月間飼育後, 循環濾過水槽で1週間以上実験水温のもとで飼育した。いずれの魚種も呼吸室へ入れる24時間前より餌止めた。

実験装置は前報¹⁾に示したものをを用いたが, 呼吸室にはウグイおよびゲンゴロウブナでは $5.5 \times 8.5 \times 41$ cmの箱形のを, 他の魚種では内径5.3 cm, 長さ30 cmの円筒形のをを用いた。魚を呼吸室へ1個体入れ, 呼吸室を黒いビニールで被って暗くした状態で15時間以上経過後, 測定を開始した。測定は呼吸室への流入水がほぼ酸素飽和した状態(以降正常状態と表わす)で行った後, 窒素ガスの曝気によって1時間毎に5段階に順次低下させ, 各段階の低下開始より60分後に窒素ガスを止め, 空気中で3分間曝気して酸素飽和度を正常状態の値に回復させ, 回復期の10分後および60分後に行った。

酸素飽和度はウグイでは正常状態の $97.0 \pm 1.4\%$ (溶存酸素量 5.48 ± 0.05 ml/l) より $81.6 \pm 2.8\%$ (4.60 ± 0.16 ml/l), $63.0 \pm 2.8\%$ (3.55 ± 0.17 ml/l), $46.5 \pm 4.5\%$ (2.63 ± 0.16 ml/l), $32.2 \pm 2.1\%$ (1.83 ± 0.11 ml/l), $21.5 \pm 0\%$ (1.21 ± 0 ml/l) に, ゲンゴロウブナでは正常状態の $94.2 \pm 0.5\%$ (5.36 ± 0.03 ml/l) より $73.4 \pm 0.1\%$ (4.18 ± 0.01 ml/l), $59.1 \pm 0.6\%$ (3.37 ± 0.04 ml/l), $43.9 \pm 0.7\%$ (2.50 ± 0.04 ml/l), $24.2 \pm 2.0\%$ (1.38 ± 0.17 ml/l), $13.0 \pm 0.1\%$ (0.73 ± 0.01 ml/l) に, ギンブナでは正常状態の $101.4 \pm 3.0\%$ (5.76 ± 0.19 ml/l) より $82.0 \pm 1.8\%$ (4.67 ± 0.13 ml/l), $64.6 \pm 4.4\%$ (3.67 ± 0.28 ml/l), $43.9 \pm 2.9\%$ (2.52 ± 0.18 ml/l), $25.5 \pm 2.3\%$ (1.45 ± 0.15 ml/l), $13.1 \pm 0.1\%$ (0.75 ± 0.01 ml/l) あるいは $7.3 \pm 0\%$ (0.41 ± 0 ml/l) に, ブラックバスでは正常状態の $105.2 \pm 1.9\%$ (6.04 ± 0.01 ml/l) より 87.3

$\pm 2.5\%$ (5.00 ± 0.13 ml/l), $70.8 \pm 0.5\%$ (4.03 ± 0.06 ml/l), $48.7 \pm 0.6\%$ (2.79 ± 0.06 ml/l), $30.3 \pm 0.6\%$ (1.73 ± 0.02 ml/l), $11.1 \pm 0.5\%$ (0.63 ± 0.03 ml/l) に, カマツカでは正常状態の $95.1 \pm 2.2\%$ (6.04 ± 0.14 ml/l) より $76.2 \pm 3.4\%$ (4.85 ± 0.22 ml/l), $62.4 \pm 3.0\%$ (3.98 ± 0.19 ml/l), $48.0 \pm 2.2\%$ (3.06 ± 0.14 ml/l), $33.7 \pm 2.4\%$ (2.15 ± 0.15 ml/l), $14.2 \pm 0.8\%$ (0.91 ± 0.06 ml/l) あるいは $12.4 \pm 0.2\%$ (0.80 ± 0.01 ml/l) に低下させた。

酸素消費量 ($\dot{V}O_2$, ml/min·kg) は, 前報¹⁾のように前もって設置しておいた酸素びんを所定の時刻に取替えて採水して呼吸室への流入水 (C_{i,O_2} , ml/l) および呼吸室からの流出水の溶存酸素量 (C_{e,O_2} , ml/l) を WINKLER 法で測定し, 呼吸室への流入水量 (f , l/min) と体重 (BW , kg) より, $\dot{V}O_2 = (C_{i,O_2} - C_{e,O_2}) \cdot f / BW$ から求めた。呼吸室への流入水の酸素飽和度は C_{i,O_2} から酸素飽和量の表⁵⁾を用いて求めた。

実験はウグイでは水温 $27.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 呼吸室への流入水量 660 ± 54 ml/min, ゲンゴロウブナでは $26.5 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 269 ± 20 ml/min, ギンブナでは $26.5 \pm 0.7^\circ\text{C}$, 132 ± 20 ml/min, ブラックバスでは $26.1 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 178 ± 9 ml/min, カマツカでは $20.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$, 169 ± 16 ml/min のもとで行った。

結 果

酸素消費量はウグイでは正常状態で 2.65 ± 0.28 ml/min·kgを示し, 酸素飽和度が $63.0 \pm 2.8\%$ に低下するまではほぼ正常状態の値を示したが, 更に低下すると減少し, 酸素飽和度 $21.5 \pm 0\%$ で24個体中4個体が窒息死し, この時生存した個体では 1.10 ± 0.21 ml/min·kgを示した(図1)。回復期には10分後に 4.39 ± 0.41 ml/min·kgと著しく増大し, 60分後には減少して 3.90 ± 0.63 ml/min·kgを示した。

ゲンゴロウブナでは正常状態で 1.11 ± 0.12 ml/min·kgを示し, 酸素飽和度が $24.2 \pm 2.0\%$ に低下するまではほぼ正常状態の値を示したが, 更に低下すると減少して酸素飽和度 $13.0 \pm 0.1\%$ で 0.40 ± 0.05 ml/min·kgと著しく増大し, 60分後には減少して 1.21 ± 0.17 ml/min·kgを示した。

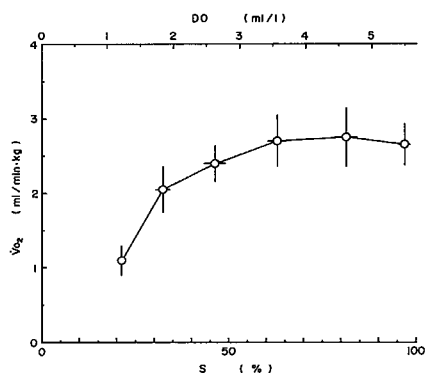


Fig. 1 Change of oxygen consumption in Ugui *Tribolodon hakonensis* under progressive hypoxia. S : oxygen saturation, DO : dissolved oxygen concentration, $\dot{V}O_2$: oxygen consumption, circles : means, vertical and horizontal bars : standard deviations of oxygen consumption and of oxygen saturation, respectively.

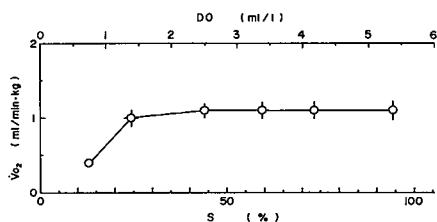


Fig. 2 Change of oxygen consumption in Gengorou-funa *Garassius carassius cuvieri* under progressive hypoxia. Symbols are the same as those for Fig. 1.

ギンブナでは正常状態で $1.33 \pm 0.24 \text{ ml} / \text{min} \cdot \text{kg}$ を示し、酸素飽和度が $25.5 \pm 2.3\%$ に低下するまではほぼ正常状態の値を示したが、更に低下すると減少して酸素飽和度 $7.3 \pm 0\%$ で $0.28 \pm 0.05 \text{ ml} / \text{min} \cdot \text{kg}$ を示した (図3)。回復期には10分後に $2.81 \pm 0.51 \text{ ml} / \text{min} \cdot \text{kg}$ と著しく増大し、60分後には減少して $1.49 \pm 0.16 \text{ ml} / \text{min} \cdot \text{kg}$ を示した。

ブラックバスでは正常状態で $2.18 \pm 0.30 \text{ ml} / \text{min} \cdot \text{kg}$ を示し、酸素飽和度が $48.7 \pm 0.6\%$ に低下するまではほぼ正常状態の値を示したが、更に低下すると減少して酸素飽和度 $11.1 \pm 0.5\%$ で $0.88 \pm 0.21 \text{ ml} / \text{min} \cdot \text{kg}$ を示した (図4)。回復期には10分後に $2.58 \pm 0.27 \text{ ml} / \text{min} \cdot \text{kg}$ とわずかに増加し、60分後には減少して $2.15 \pm 0.25 \text{ ml} / \text{min} \cdot \text{kg}$

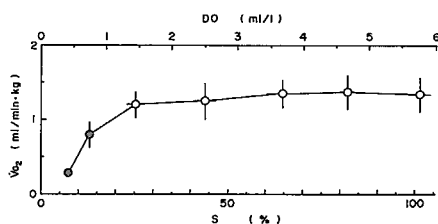


Fig. 3 Change of oxygen consumption in Gin-funa *Carassius carassius langsdorfii* under progressive hypoxia. closed circles : the means at the fifth step at which the oxygen saturation was lowered gradually every 1-hr intervals. Other symbols are the same as those for Fig. 1.

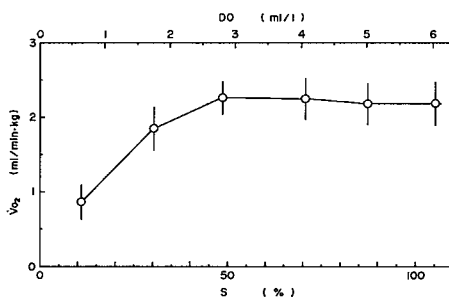


Fig. 4 Change of oxygen consumption in Largemouth bass *Micropterus salmoides* under progressive hypoxia. Symbols are the same as those for Fig. 1.

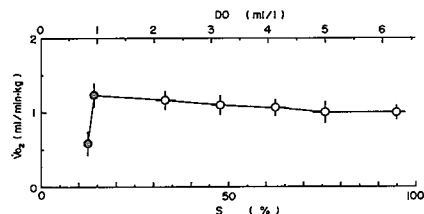


Fig. 5 Change of oxygen consumption in Kamatuka *Pseudogobio esocinus* under progressive hypoxia. closed circles : the means at the fifth step at which the oxygen saturation was lowered gradually every 1-hr intervals. Other symbols are the same as those for Fig. 1.

を示した。

カマツカでは正常状態で $1.01 \pm 0.10 \text{ ml} / \text{min} \cdot \text{kg}$ を示し、酸素飽和度が低下するとわずかに増大して酸素飽和度 $14.2 \pm 0.8\%$ で $1.23 \pm$

0.18ml/min·kgを示したが、更に低下すると著しく減少して酸素飽和度 $12.4 \pm 0.2\%$ で $0.58 \pm 0.17\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}$ を示した。(図5)。回復期には10分後に $2.16 \pm 0.60\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}$ と著しく増大し、60分後には減少して $1.23 \pm 0.29\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}$ を示した。

考 察

正常状態での酸素消費量はゲンゴロウブナ ($1.11\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}$) およびギンブナ ($1.33\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}$)、ブラックバス ($2.18\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}$)、ウグイ ($2.65\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}$) の順に大きい。このことから、基礎代謝量はゲンゴロウブナおよびギンブナ、ブラックバス、ウグイの順に大きいと考える。

これらの魚種では酸素消費量はいずれも環境水の酸素飽和度が低下するとあるところまでは正常状態の値を示したが、更に低下すると減少した(図1~4)。この時、酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度はゲンゴロウブナおよびギンブナ(約25%)、ブラックバス(約45%)、ウグイ(約60%)の順に大きい。つまり、ゲンゴロウブナおよびギンブナ、ブラックバス、ウグイの順に水中の酸素不足の影響を受けやすいと考える。

酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度は同一魚種間では水温の上昇³⁾あるいは運動¹⁾によって代謝量が増大すると高くなることが知られている。テラピアでは1才魚よりも基礎代謝量の大きな当才魚の方が酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度が高い⁴⁾。本実験で用いた魚種間でも同様に基礎代謝量の大きな方が酸素消費量の減少が始まる酸素飽和度が高くなっている。

CECH *et al.*⁵⁾はブラックバス(体重230~470g)では正常状態での酸素消費量が25℃の場合 $105.07\text{mg}/\text{hr}\cdot\text{kg}$ 、30℃の場合 $150.76\text{mg}/\text{hr}\cdot\text{kg}$ 、酸素消費量が減少を始める酸素分圧は25℃で40~50mmHg、30℃で50~60mmHgと報告している。つまり25℃および30℃では酸素消費量はそれぞれ 1.22 および $1.76\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}$ 、酸素消費が減少を始める酸素飽和度はそれぞれ27~33および33~40%となる。本実験(体重 $31 \pm 16\text{g}$)ではそれらの値よりも正常状態での酸素消費量 ($2.18\text{ml}/$

$\text{min}\cdot\text{kg}$) および酸素消費量が減少を始める酸素飽和度(約45%)のいずれも大きい。このことから、ブラックバスでも前記のテラピアと同様に基礎代謝量の大きな若い個体ほど酸素消費量が減少を始める酸素飽和度が大きいと考えられる。

一方、カマツカでは環境水の酸素飽和度が低下すると酸素消費量がわずかに増加し、酸素飽和度14.2%以下に低下すると著しく減少した(図5)。しかし、この値はカマツカの窒息死が始まる酸素飽和度(10.1%)⁷⁾とほぼ同じである。魚類では窒息死する場合には呼吸運動が緩徐となり、不規則となってしだいに停止する。この時には酸素消費量は著しく減少し、ついにはゼロになる。カマツカでの低酸素下における酸素消費量の著しい減少はこのような窒息死直前の変化であると考えられる。このことから、カマツカはアユ⁸⁾と同様に酸素飽和度が低下する前の代謝量に相当する酸素量を摂取できなくなれば直ちに窒息死する魚種であると推察される。

謝 辞

実験魚の採集および飼育に御協力いただいた水産大学校小野臨湖実験実習場の酒井治己助手および志賀通之技官に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 1) HUGHES, G. M. (1981): Effects of low oxygen and pollution on the respiratory systems of fish. In Stress and fish (Edited by PICKERING, A. D.). Academic Press, London. pp 121-146.
- 2) MARVIN, D. E. and A. G. HEATH (1968): Cardiac and respiratory responses to gradual hypoxia in three ecologically distinct species of fresh-water fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 27, 349-355.
- 3) BUTKER, P. J. and E. W. TAYLOR (1975): The effect of progressive hypoxia on respiration in the dogfish (*Scyliorhinus canicula*) at different seasonal temperatures. *J. exp. Biol.*, 63, 117-130.
- 4) 山元憲一・高殿俊行 (1985): 低酸素下におけるウナギ、ドジョウ、テラピア、アユの酸素消費量の変化。水産増殖, 33, 103-107.
- 5) 堀内清司 (1976): 第6章 湖沼, 地球科学講座, 第9巻 陸水 (山本莊毅編), p. 226, 共立出版, 東京.
- 6) CECH, J. J., C. G. CAMPAGNA and S. J. MITCHELL (1979): Respiratory responses of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) to environmental changes in

temperature and dissolved oxygen. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **108**, 166-171.

7) 山元憲一・平野修・原洋一・吉川浩史 (1986)

：カマツカの低酸素下における呼吸および逃避反応. 魚種学雑誌, **33**, 398-403.