

マアジの酸素消費に及ぼす低酸素の影響

| | |
|-------|------------------------|
| 誌名 | 水産増殖 = The aquiculture |
| ISSN | 03714217 |
| 著者 | 山元, 憲一 |
| 巻/号 | 39巻4号 |
| 掲載ページ | p. 399-402 |
| 発行年月 | 1991年12月 |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



マアジの酸素消費に及ぼす低酸素の影響

山 元 憲 一

(水産大学校増殖学科)

Effects of Hypoxia on Respiration in the Jack Mackerel,

Trachurus japonicus

Ken-ichi YAMAMOTO

Abstract

In the jack mackerel, oxygen consumption and minute ventilation volume under the resting condition were kept the similar level to that under normoxic condition in over 21.9 ± 1.6 % in oxygen saturation and in over 43.6 ± 1.1 %, respectively. The largest level of oxygen consumption under the recovery condition from the severe exercise of 15 min was kept the similar level to that under normoxic condition in over 75.3 ± 2.2 %.

From the above, it is considered that the fish is effected the change on the respiratory movement by hypoxia in below 75 % in oxygen saturation, but the survival of one must be possible in over 44 % under severe physical disturbance.

近年、マアジ、*Trachurus japonicus* は盛んに養殖され、活魚輸送されている。しかし、マアジの呼吸についてはほとんど研究されていない。そこで、著者は、それらの事業をさらに発展させ、しかも効率よく行うための基礎資料を得る目的で、マアジを用いて、安静にした状態と激しい運動を行った直後の酸素消費量に及ぼす低酸素の影響、および安静にした状態における毎分鰓換水量、呼吸一回の鰓換水量、呼吸数、鰓酸素利用率に及ぼす低酸素の影響を調べ、マアジを取り扱う場合の安全な酸素量の推測を行った。

材料および方法

実験はマアジを68個体用いて、下記の二項目について行った。魚は稚魚を捕獲して小割生簀で飼育後、天

草より下関まで活魚輸送し、3-7日間無給餌で蓄養したものを水産大学校近くの活魚販売店で購入したものである。購入後から実験終了までの7-10日間はコンクリート製の水槽(2×1×0.6m)で流水下のもとで蓄養した。したがって、魚は10-17日間絶食させたことになる。

酸素消費量 測定は体重 114 ± 9 g (M±SD, 以降同様に示す)、全長 226 ± 7 mmのもの54個体を用い、水温 16.5 ± 0.3 °Cのもとで、安静状態の酸素消費量については24例、運動からの回復時の酸素消費量については30例行った。

安静状態の酸素消費量については前報¹⁾と同様にして調べた。まず、体重および全長を計測した後、魚を円筒形の呼吸室(内径60mm, 長さ250mm)に入れ、呼

受領日：1991(H3)年6月26日

索引語：マアジ/酸素消費/低酸素/運動

連絡先：〒759-65 下関市永田本町2丁目7-1 水産大学校増殖学科 山元憲一

Address : K. YAMAMOTO, Shimonoseki Univ. Fish., 2-7-1, Nagata-honmachi, Shimonoseki 759-65, Japan

呼吸室を黒いビニールで被って暗くした状態で15時間経過後、酸素消費量の測定を行った(以降正常状態と示す)。ついで、酸素飽和度を窒素ガスの曝気によって1時間毎に6段階に順次低下させ、各段階の低下開始から50分後より酸素消費量の測定を行った。なお、呼吸室への流入水量は $353 \pm 11 \text{ ml/min}$ とした。酸素飽和度(%) (溶存酸素量, ml/l) は、 100.2 ± 1.6 (5.82 ± 0.09) の正常状態から 85.5 ± 0.9 (4.97 ± 0.05)、 74.3 ± 1.8 (4.32 ± 0.10)、 55.8 ± 1.1 (3.24 ± 0.06)、 38.6 ± 1.1 (2.24 ± 0.06)、 34.6 ± 0.7 (2.01 ± 0.04)、 21.9 ± 1.6 (1.27 ± 0.09) へと順次低下させた。最も低い酸素飽和度の値 ($21.9 \pm 1.6\%$) は下記の予備実験の結果より、マアジの窒息死が始まる酸素飽和度よりもわずかに高い値とした。予備実験としては、前記の場合と同様にして6段階に順次酸素飽和度を低下させて窒息死が始まる酸素飽和度を調べた。この時、酸素飽和度は5段階目までは前記と同じ値に、6段階目のみを種々の程度に低下させた。その結果、窒息死する個体は酸素飽和度18%で出現した。

運動からの回復時の酸素消費量については、次のようにして測定を行った。まず、前もって呼吸室に、酸素飽和した水つまり酸素飽和度 $95.2 \pm 2.1\%$ (溶存酸素量 $5.71 \pm 0.19 \text{ ml/l}$) の水、窒素ガスの曝気によって酸素飽和度を $43.6 \pm 1.1\%$ ($2.54 \pm 0.07 \text{ ml/l}$) に調節した水あるいは $32.3 \pm 1.1\%$ ($1.90 \pm 0.05 \text{ ml/l}$) に調節した水のいずれかを流しておく。次に、空気による曝気を行っている円筒形の容器(内径300mm, 高さ320mm)内で魚を15分間手で追い回して激しく運動をさせた後、直ちに前記の三段階のいずれかの酸素飽和度に調節した水が流入している呼吸室に入れて、60分間酸素消費量の測定を行った。この時の運動量は、魚が平衡を失って、横転する程度とした。なお、呼吸室への流入水量は $460 \pm 10 \text{ ml/min}$ とした。呼吸室への流入水の溶存酸素量は、運動後に魚を呼吸室に入れてから10分毎に採水し、Winkler法で溶存酸素量を測定し、その6回の平均値とした。一方、呼吸室からの流出水の溶存酸素量はDOメーター(UC-12 DIGITAL DO/O₂/TEMP METER, セントラル科学社製)で連続記録した。運動からの回復時の最大酸素消費量 (\dot{V}_{O_2} , ml/min/kg) は、呼吸室への流入水の溶存酸素量 ($C_i, \text{O}_2, \text{ml/l}$) と連続記録した呼吸室からの流出水の溶存酸素量の最小値 ($C_e, \text{O}_2, \text{ml/l}$) とから、 $\dot{V}_{O_2} = (C_i, \text{O}_2 - C_e, \text{O}_2) \text{ Fr/BW}$ [Fr:呼吸室への流入水量 (l/min), BW:体重 (kg)] より求めた。

鰓換水および鰓酸素利用率 測定は、前報²⁾と同様

にし、体重 $152 \pm 18 \text{ g}$, 全長 $235 \pm 23 \text{ mm}$ のもの14個体を用いて水温 $14.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ で14例行った。まず、体重および全長を計測した後、鰓換水量の直接測定が可能な呼吸室に魚を入れ、呼吸室を黒いビニールで被って暗くした状態で15時間経過後、正常状態について測定を行った。ついで、酸素飽和度を窒素ガスの曝気によって1時間毎に6段階に低下させ、各段階の低下開始から50分後より測定を行った。なお、呼吸室の前室への流入水量は 400 ml/min , 同後室から導き、酸素瓶からあふれる排水量は $16.0 \pm 1.0 \text{ ml/min}$ とした。酸素飽和度(%) (溶存酸素量, ml/l) は、 101.3 ± 2.5 (6.08 ± 0.18) の正常状態から 87.6 ± 1.1 (5.20 ± 0.03)、 75.3 ± 2.2 (4.58 ± 0.15)、 61.4 ± 2.7 (3.67 ± 0.19)、 51.3 ± 1.4 (3.08 ± 0.08)、 43.8 ± 1.3 (2.59 ± 0.14)、 31.8 ± 1.8 (1.90 ± 0.12) へと順次低下させた。毎分鰓換水量, 呼吸数, 酸素消費量, 鰓酸素利用率および呼吸一回の鰓換水量は前報²⁾に示した方法で測定した。

結 果

安静状態での酸素消費量は正常状態では $1.47 \pm 0.24 \text{ ml/min/kg}$ を示し、酸素飽和度が $21.9 \pm 1.6\%$ に低下してもほぼ正常状態での値を示していた(Fig. 1)。

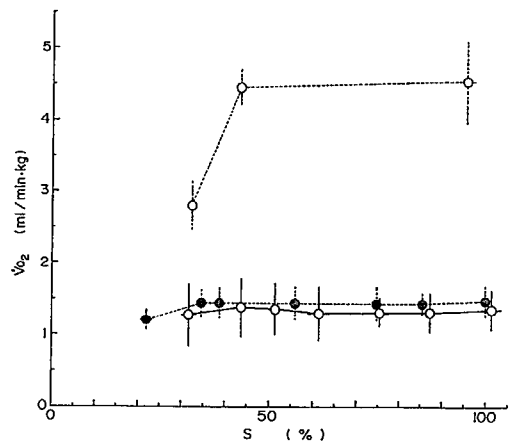


Fig. 1. Changes of oxygen consumption (\dot{V}_{O_2}) under progressive hypoxia in the jack mackerel under severe exercise (Open circles and broken line), under resting condition (closed circles and broken line) and under resting condition by measuring by the direct measuring method of gill ventilation (open circles and straight line). The abscissa shows oxygen saturation (S). Circles are mean, and vertical lines and horizontal lines are standard deviation of oxygen consumption and standard deviation of oxygen saturation, respectively.

激しい運動からの回復時の酸素消費量は 8.7 ± 3.7 分後に最大を示した。この時の酸素消費量つまり運動からの回復時の最大酸素消費量は正常状態では $4.55 \pm 0.59 \text{ ml/min/kg}$ で安静状態での値の約3倍を示し、酸素飽和度が $43.6 \pm 1.1\%$ に低下するまではほぼ正常状態での値を示したが、さらに低下すると減少して酸素飽和度が $32.3 \pm 1.1\%$ で $2.81 \pm 0.35 \text{ ml/min/kg}$ を示した (Fig. 1)。鰓換水および鰓酸素利用率についての実験の場合では、酸素消費量は正常状態では $1.35 \pm 0.32 \text{ ml/min/kg}$ を示し、酸素飽和度が $31.8 \pm 1.8\%$ に低下するまではほぼ正常状態での値を示した (Fig. 1)。

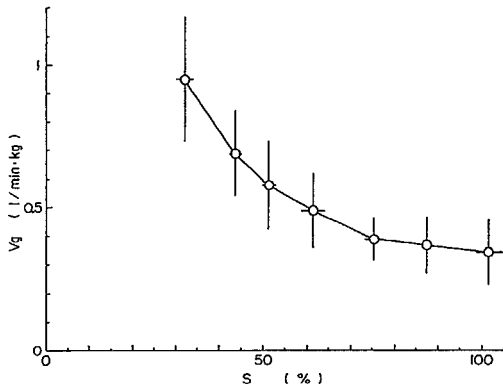


Fig. 2. Changes of minute volume of gill ventilation (Vg) under progressive hypoxia in the jack mackerel by the direct measuring method of gill ventilation. The abscissa shows oxygen saturation (S). Circles are mean, and vertical lines and horizontal lines are standard deviation of oxygen consumption and standard deviation of oxygen saturation, respectively.

毎分鰓換水量は正常状態では $0.347 \pm 0.112 \text{ l/min/kg}$ を示し、酸素飽和度が低下すると増加して、酸素飽和度 $31.8 \pm 1.8\%$ で $0.951 \pm 0.219 \text{ l/min/kg}$ と正常状態での値の約2.5倍の増加を示した (Fig. 2)。

呼吸数は正常状態では $56.0 \pm 7.4 \text{ stroke/min}$ を示し、酸素飽和度が $31.8 \pm 1.8\%$ に低下すると $69.5 \pm 9.6 \text{ stroke/min}$ とわずかな増加を示した (Fig. 3)。

呼吸一回の鰓換水量は正常状態では $6.4 \pm 2.2 \text{ ml/stroke/kg}$ を示し、酸素飽和度が $75.3 \pm 2.2\%$ に低下するまではほぼ正常状態での値を示し、さらに低下すると増加して、酸素飽和度 $31.8 \pm 1.8\%$ で $13.7 \pm 2.7 \text{ ml}$

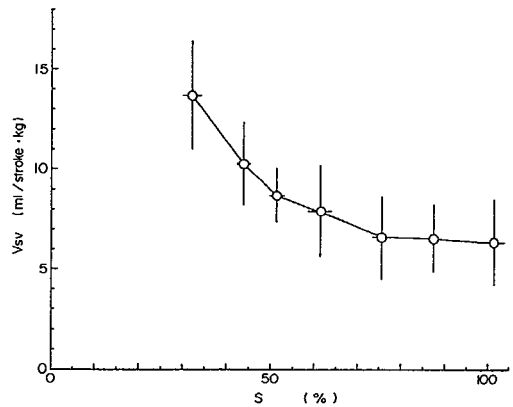


Fig. 4. Changes of volume of gill ventilation per cycle of respiration frequency (Vsv) under progressive hypoxia in the jack mackerel by the direct measuring method of gill ventilation. Symbols are the same as those in Fig. 2.

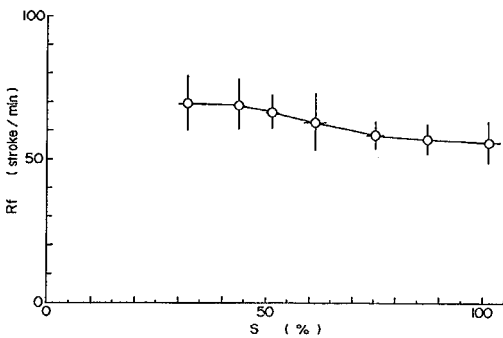


Fig. 3. Changes of respiration frequency (Rf) under progressive hypoxia in the jack mackerel by the direct measuring method of gill ventilation. Symbols are the same as those in Fig. 2.

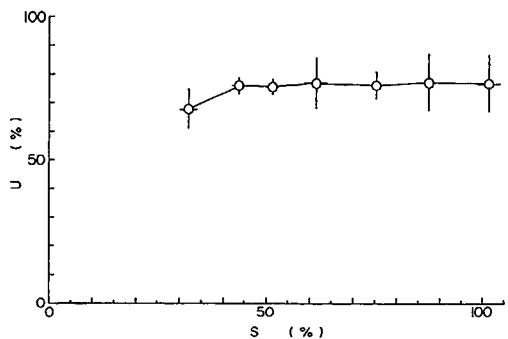


Fig. 5. Changes of percent oxygen utilization at the gills (U) under progressive hypoxia in the jack mackerel by the direct measuring method of gill ventilation. Symbols are the same as those in Fig. 2.

/stroke/kg と正常状態での値の約 2 倍の増加を示した (Fig. 4)。

鰓酸素利用率は正常状態では $76.6 \pm 10.3\%$ を示し、酸素飽和度が $43.8 \pm 1.3\%$ に低下するまではほぼ正常状態での値を示し、さらに低下すると減少して酸素飽和度 $31.8 \pm 1.8\%$ で $68.2 \pm 6.9\%$ を示した (Fig. 5)。

考 察

安静状態における酸素消費量は窒息死が始まる酸素飽和度より数パーセント高いところ (21.9%) まではほぼ正常状態と同じ値を示している (Fig. 1)。このことから、マアジはアユ¹⁾やブリ³⁾と同様で、低酸素下における酸素消費量の急激な減少が始まる酸素飽和度、つまり末期限界値⁴⁾より酸素飽和度が低下して、正常状態での酸素消費量に相当する酸素量を水中より摂取出来なくなれば直ちに窒息死に至る魚種の一つと考えられる。しかし、酸素消費量の変化 (Fig. 1) からみると、マアジは安静状態では酸素飽和度が 21.9% に低下するまでは低酸素の影響を受けずに酸素飽和した状態と同様に生存可能であると考えられる。

毎分鰓換水量は酸素飽和度が 75.3% より低下すると著しい増加を示している (Fig. 2)。このことから、マアジは酸素飽和度が 75.3% より低下すると正常状態での酸素消費量に相当する酸素量の摂取を維持するために鰓換水量を著しく増加させることが明らかである。つまり、毎分鰓換水量の変化よりみると、安静状態においてマアジは酸素飽和度が 75.3% より低下すると呼吸運動に低酸素の影響が著しく現れると考えられる。

一方、運動からの回復時の最大酸素消費量は酸素飽和度が 43.6% に低下するまではほぼ正常状態での値を示している (Fig. 1)。このことから、酸素飽和度が 43.6% に低下するまでは、マアジは低酸素の影響を受けず、激しい運動によって生じた酸素負債を解消するのに必要な酸素量の摂取が可能であると考えられる。

以上のことから、マアジは酸素飽和度が 75% より低下すると呼吸運動に低酸素の影響が現れるが、安静にしていれば酸素飽和度が 22% 以上あれば生存可能であり、取り上げなどで激しく暴れた場合には 44% 以上あればその時のストレスからの回復に支障がないと考えられる。つまり、マアジを取り扱う場合には酸素飽和度は 44% 以上に保っていれば安全であると考えられる。しかし、本実験を行った場合よりも水温が高い場合や給餌を行った場合には、代謝量が増加するために、前記の値よりも高い酸素飽和度を維持する必要があると考えられる。

要 約

マアジの酸素消費量は安静状態では酸素飽和度が 21.9% に、激しい運動からの回復時における最大酸素消費量は 43.6% に、安静状態における毎分鰓換水量は 75.3% に低下するまではほぼ正常状態での値を示した。つまり、マアジは酸素飽和度が 75% より低下すると呼吸運動に低酸素の影響が現れるが、44% 以上あれば激しく暴れても生存可能であると推察された。

文 献

- 1) 山元憲一・高殿俊之 (1985): 低酸素下におけるウナギ, ドジョウ, ティラピア, アユの酸素消費量の変化. 水産増殖, 33(2), 103-107.
- 2) 山元憲一・平野 修・橋本公浩 (1988): 鰓換水量の直接測定法とそのコイへの応用. 水産増殖, 36(2), 131-135.
- 3) 山元憲一・広中孝始・山下秀幸・綿石慶太 (1990): 低酸素下におけるブリ, クラカケトラギス, カサゴ, ネズミゴチ, トラフグの酸素消費量の変化. 水産増殖, 38(1), 35-39.
- 4) 板沢靖男 (1970): 呼吸. "魚類生理" (川本信之編), 厚生社厚生閣, 東京, pp. 45-88.