

酸素濃度の違いに対するスルメイカ（*Todarodes pacificus*）の鰓の構造変形

誌名	北海道大学水産科学研究彙報
ISSN	13461842
著者名	蛇沼,俊二 杉尾,優衣 竹花,一成 谷口,有紀子 崔,燦文
発行元	北海道大学大学院水産科学研究科
巻/号	59巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-5
発行年月	2009年3月

酸素濃度の違いに対するスルメイカ (*Todarodes pacificus*) の鰓の構造変形

蛇沼 俊二¹⁾・杉尾 優衣²⁾・竹花 一成³⁾・谷口有紀子³⁾・崔 燦文⁴⁾

(2008年9月4日受付, 2009年1月20日受理)

The Morphological Changes in the Gill by Oxygen Deficiency of Common Squids *Todarodes pacificus*

Shunji JANUMA¹⁾, Yui SUGIO²⁾, Kazushige TAKEHANA³⁾, Yukiko TANIGUCHI³⁾
and Chan-Moon CHOI⁴⁾

Abstract

The difficulty associate with maintaining live squids for two days or more severely limits the geographic area and time over which they can be distribute and sold. The cases of death during transportation are not yet clearly understood, but it is thought to be due to the physical damage they inflict on each other, the stress of competition for space, stress due rapid changes of surroundings or by combination of these factors.

We investigated the damage to gills due to a shortage in the dissolved oxygen (DO) in water to examine its possible contributions to the cause of the death. Deformations in the protruding quasi-lamellae of the gill were measured for different DO levels by megascopic and microscopic observations.

The experiments were conducted on the *USHIO MARU* training-ship outside HAKODATE port, using squids caught by angling.

Squids were maintained in boxes (20 cm×42 cm×22 cm) with 8 L of water, and aeration was stopped at the beginning of the test. The DO in the water decreased slowly in response to respiration of the squid, which died approximately after three hours by a shortage of oxygen.

Behavioral observations showed that squids were initially active in the box. Once oxygen decreased to approximately 6 mg/L, squids remained motionless near the bottom of the box that might be due in response to a shortage of oxygen. Squids kept this behavior for two or three hours depending on the temperature. Although squids did not move in this period, they reacted to external stimulations, such as touch, or changes in light. Then, their body color changed to white and they died.

Gill damage was compared in three categories: (1) initial DO, (2) half DO and (3) Low DO. Gills were surgically removed and preserved in formalin until such observations in the laboratory. The number of deformation of quasi-lamellae was counted, and the extent of the protrusion was measured using microscope and by viewing. The extent of deformations differed significantly depend on the shortage of DO.

Key words: live squid, shortage DO, respiration, quasi-lamellae deformation

はじめに

日本の水産資源量全体が減少し、その維持が危惧されている中で、北海道の主要漁業の一つであるスルメイカ釣漁

業もまた同様の状況におかれている。水産資源量の全体的な減少傾向下にあつて、漁業生産は資源の維持と同時に漁獲物の有効利用を図る必要があるが、漁業経営面から漁獲物の有効利用を考えると、漁獲物の高付加価値を志向す

¹⁾ 北海道大学大学院水産科学院海洋生物資源科学専攻海洋産業科学分野

(Division of Marine Bioresource and Environmental Science, Laboratory of Marine Industrial Science and Technology, Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University)

²⁾ 北海道大学大学水産学部海洋生産システム学科海洋産業科学講座

(Department of Marine Production System Science, Field of Production System Control, Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University)

³⁾ 酪農学園大学獣医学部獣医解剖学教室

(Department of Veterinary Anatomy, School of Veterinary Medicine, Rakuno Gakuen University)

⁴⁾ 済州大学校海洋科学大学海洋産業工学専攻

(Division of Marine Industrial Technology, College of Ocean Science, Cheju National University)

ることが考えられる。

スルメイカの高付加価値化したものとして刺身食材がある。他の魚類の刺身が、漁獲後一定時間寝かせておいたものが美味であるのに対して、スルメイカは生きた状態が美味とされるため、活スルメイカの需要が多い。

しかし、この活スルメイカの蓄養は難しく、現在、北海道において商品として流通する場合、ほぼ一昼夜を蓄養時間の限度としている。このスルメイカの蓄養に対する弱さの原因は現在でも明らかとなっていない。

著者らは、スルメイカを長時間蓄養後、鰓が薄い黄褐色に変色するのをしばしば目視観察した。また、フナについて過去の実験から、酸欠時に鰓が大きく変形することが報告されている。フナの二次鰓板は二次鰓板間細胞塊と言われる細胞塊に埋もれているが、フナが低酸素濃度水に蓄養されるとこの細胞塊細胞のアポトーシスにより鰓板が突出し呼吸表面積 7.5 倍に増加すると報告されている (Sollid et al., 2003) (Sollid et al., 2005)。

本研究ではこのスルメイカの蓄養における弱さの原因の解明を目指して、蓄養時の海水溶存酸素濃度の条件と鰓の二次鰓板の変形量の関係について調べた。

材料および方法

標本の採集は北海道大学練習船うしお丸の船上にて実施した。うしお丸を函館港外の錨泊区域内にて錨泊し、手釣りイカ釣り漁具にて実験材料のスルメイカを捕獲した。捕獲したスルメイカは溶存酸素濃度の条件別に船上で 8 リットルの海水を入れた断熱性の発砲スチロール容器に蓄養し (Fig. 1), 一定条件の後に、船上で開腹し直ちに鰓を切除し約 8% ホルマリン液にて固定した。スルメイカの鰓は左右に対となって外套膜内側の体側付近に膜状組織によって、外套膜の長手方向に付着している。今回標本として用いた外套長 23 cm~25 cm のイカでは、鰓はおおよそ長さ約 5 cm, 幅約 1 cm の大きさであった。また左右のそれぞれは 50~60 枚前後の二次鰓板で構成されている。

それぞれのスルメイカから採取した、1 尾 1 対の鰓組織

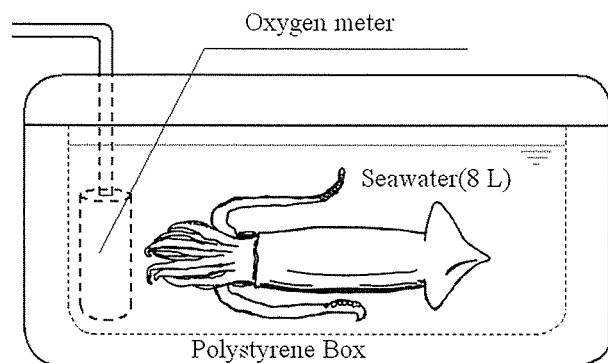


Fig. 1. The Arrangement of experimental apparatus. The DO meter is equipped to measure dissolved oxygen concentration of the sea water.

を持ち帰り後に実験室にて目視および顕微鏡写真によって鰓の変形の分析を行った。蓄養時の溶存酸素条件は以下の 3 項である。

- 1) 初期条件群: 釣り上げ直後直ちに開腹し鰓を切除したもの。
- 2) 中間群: 蓄養後、溶存酸素が約 8 mg/l の状態で、イカは遊泳行動を行っている。
- 3) 酸欠群: 蓄養後、溶存酸素が約 6 mg/l の状態で長時間経過したもので、このときスルメイカは容器底面に着底し、外部刺激に対する反応は極めて弱い。

初期条件群は釣り上げ直後直ちに開腹し鰓を切除、ホルマリン固定を行った。この条件での鰓組織の状態は、スルメイカが海中で自然な遊泳をしている状態に等しいと考えられる。

上記の 2), 3) の条件では、まず事前に蓄養用海水に十分なエアレーションを行い、溶存酸素飽和状態 (溶存酸素 11~12 mg/l, 海水温度 15.0°C) の海水を用意した。供試イカを上述の容器内に入れた後、直ちにエアレーションを停止した。以後、イカの呼吸による酸素消費の状況、水温、導電率等の諸条件値を測定しながら、目的の酸素濃度条件に達した時点でイカを取り出し、鰓標本を採取した。このときのイカの外見状態、行動などを観察した。溶存酸素量測定には HORIBA U-21XD を用いた。

実験結果

呼吸による酸素消費

Fig. 2 に一對の鰓の全体写真を示す。写真では双方の鰓に白色と灰色の縞模様が見られ、この模様の 1 本がひとつの二次鰓板である。特に白色部分が変形 (突出) した二次鰓板で、他の鰓板より隆起拡張の変形をしているものである。灰色に見える部分は突出変形の無い状態のものである。本実験ではこの突出したものとししないものについて溶存酸素別に計測をした。

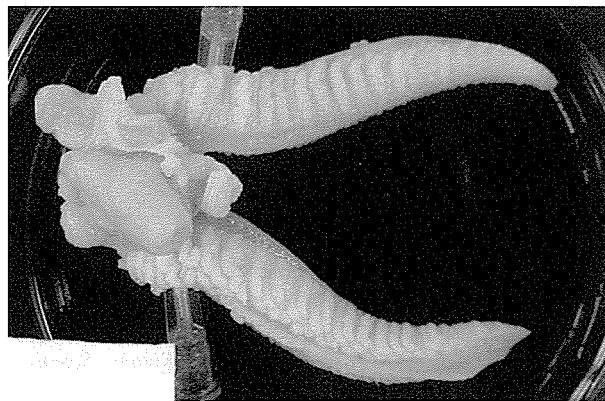


Fig. 2. Example of a pair of the gill. This seems have in white and gray stripes. Each stripes shows each quasi-lamellae. Number of quasi-lamella in one side of the gill was about 50-60.

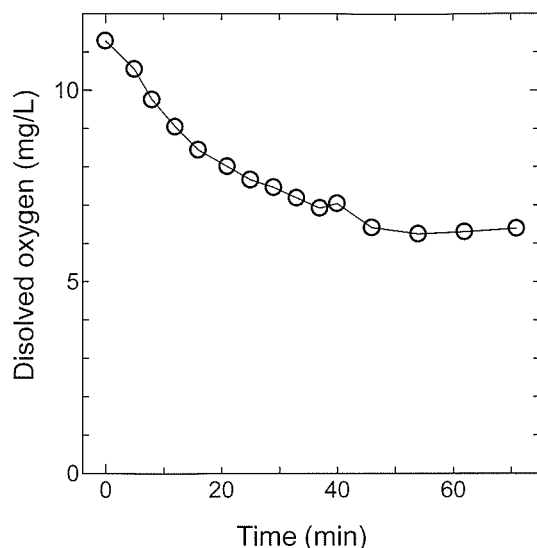


Fig. 3. Example of the dissolved oxygen change in water. The DO decreased gradually by respiration of a squid. About 50 minutes after, DO level become constant, suggesting that the squid stopped respiration.

一方、蓄養ボックス内において、イカは活発に呼吸し酸素を消費する。しかし、エアレーションを停止しているため、溶存酸素量が徐々に減少していく (Fig. 3)。この減少に伴ってイカの行動は緩慢となり、溶存酸素量が少なくなり約 6 mg/l 程度になると酸素消費を停止し (溶存酸素の減少が停止する)、この状態ではイカは体を蓄養箱の底面に着底し静止状態を続けた。Fig. 3 における 50 分以降がほぼこの状態である。しかし、スルメイカはこの時点でも体に外部刺激が加えられると、これに強く反応した。その後時間の経過とともに、刺激に対する反応が次第に弱くなり一定時間を経て、体色が急激には白濁し、死亡した。この死亡は急激であり、外見からの事前の予測は困難であった。本実験の容器の水量 (8 L) では、死亡まで 2~3 時間を要した。

鰓板の変形

目視観察による酸欠状態と二次鰓板の変形個数の関係を Fig. 4 に示す。二次鰓板の変形は鰓の全体に一樣に発生するわけではなく、むしろ二次鰓板が交互に変形を起こす。ここではこの変形を起こした鰓板の数を計数した。横軸は蓄養の酸素状態を表し、初期条件群 (Initial DO)、中間群 (Half DO)、酸欠群 (Low DO) を示している。初期条件群は Fig. 3 における経過時間がゼロの時点で鰓を採取したものである。酸欠群は一定時間を経て呼吸を停止した個体から鰓を採取したものであり、Fig. 3 において経過時間がほぼ 50 分以降の十分時間が経過時点に相当する。

グラフ中、白抜き棒グラフは鰓の二次鰓板の 1 尾当たりの平均総数を示す。二次鰓板平均総数は酸欠状態によって変化せず、酸欠によって二次鰓板に欠損は生じないことを示している。一方、酸欠状態と変形した二次鰓板数の間

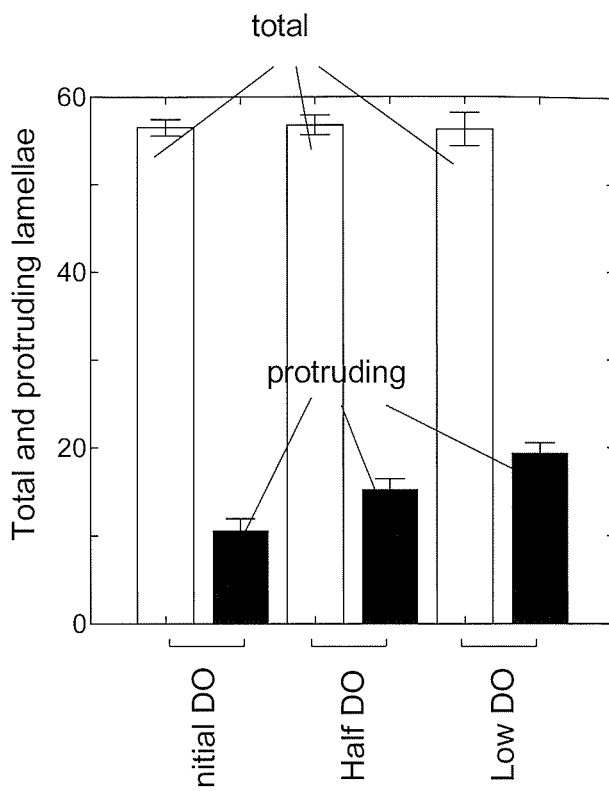


Fig. 4. Number of the total and protruding quasi-lamellae observed by viewing. The number of protruding lamellae increased by the shortage progress of the DO, and the relationship between the number and the shortage of the DO were significantly different ($p < 0.05$). Data are shown as mean $\pm$ S.E. ($n = 10$).

には明らかな関係が見られる。すなわち、鰓の突出隆起の変形は釣上げ直後ものには少なく、酸欠状態が強まるにしたがって、変形する二次鰓板の数が増加している。それぞれの変形数には有意な差が見られた ($p < 0.05$)。

前述の目視とは別に、この変形量 (突出距離) を顕微鏡画像から計測した。Fig. 5, 6, 7 はそれぞれ、初期条件群、中間群、酸欠群の突出している二次鰓板 (○印) と突出量 (矢印) の例を示している。鰓板はその基部が折りたたまれた状態のものと直線状態に伸びたものが見られる。酸欠状態が進行するにつれて、基部の伸びたものが現れ、かつ、それは畳まれたものと交互に現れる傾向がある。本測定ではこの伸びた状態のものを測定しその平均を求めた。

それぞれの群について、8 個体から一対の鰓 (左右 2 本) の合計 16 本の鰓を採取した。16 本それぞれの鰓の適当な 5 箇所を切除し標本とした。これら全部で 80 例の標本を解析した。なお、一対の鰓の背側 (anterior) と腹側 (posterior) では突出変形の様子が異なるため、それぞれ区別してこのような標本採集を行った。突出量の測定値のヒストグラムを Fig. 8 に示す。背側の突出量が腹側に比べて小さい値であり、かつ、酸欠の程度による違いは小さい。これに比べて腹側の突出量は大きく、酸欠状態によって有意な差が見

られた ($p < 0.05$)。

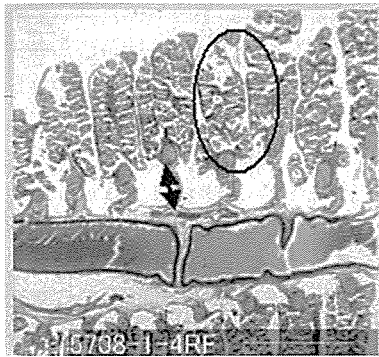


Fig. 5. Example of microscope photograph of the gill of Low DO group. Number of protruding lamellae increased significantly. Quasi-lamellae (circle) and the protruding gap (arrow)

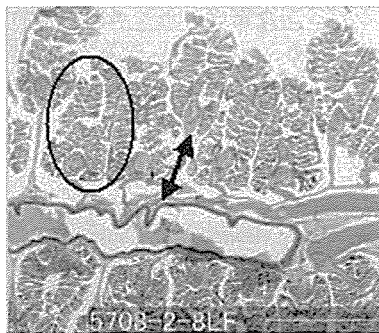


Fig. 6. Example of microscope photograph of the gill of Initial DO group. Quasi-lamellae (circle) and the protruding gap (arrow)

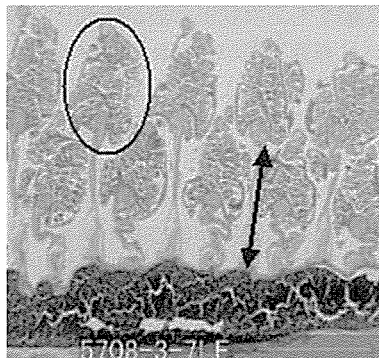


Fig. 7. Example of microscope photograph of the gill of Half DO group. Quasi-lamellae (circle) and the protruding gap (arrow)

おわりに

スルメイカの長時間活魚蓄養のための酸欠状態と鰓の損傷・変形に関する基礎的実験と観察を行った。今回のスルメイカの実験では、前述のような Sollid らによって観察

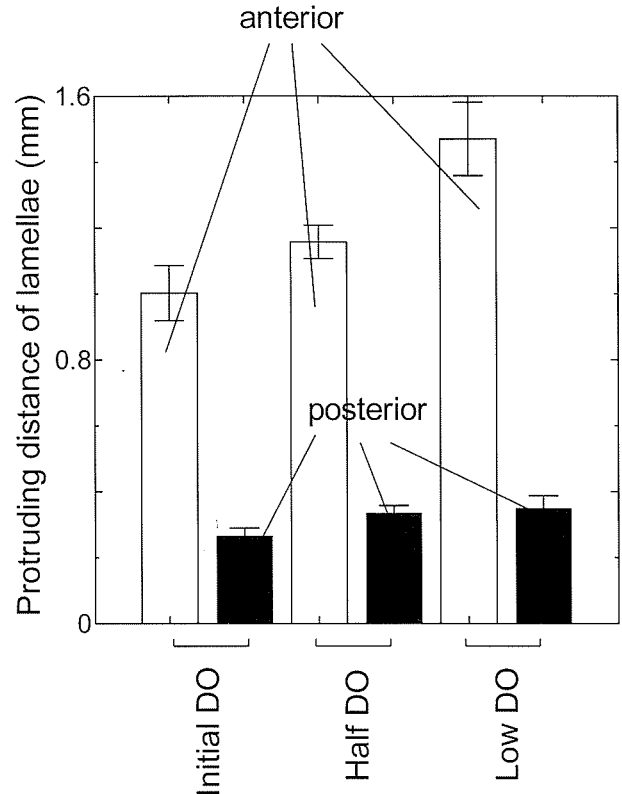


Fig. 8. The protruding gap (mm) of the anterior quasi-lamellae were significantly difference by the shortage of the DO, but that of the posterior shows no significant differences ($p < 0.05$). Data are shown as mean $\pm$ S.E. ($n = 10$).

された二次鰓板は周りの細胞層のアポトーシスの現象は見られなかった。これに代わって、スルメイカでは、二次鰓板の基部が折り畳まれた構造となっていて、酸欠によりこの部分が伸長し二次鰓板が突出するという現象が見られた。これによって酸欠時に鰓板と海水との接触面積が増すこととなる。コイの場合とイカではその方法は異なっているが、酸欠時に鰓細胞と海水の接触面積が増す現象が起きていると言える。また、この現象は数十分程度の時間経過の中で発生し、鰓組織の変形速度は早いものであった。これは二次鰓板基部の折り畳み構造と関係すると思われる (Fig. 5)。このような急激な生体組織の変化が酸素濃度の増減に対して可逆的なものか、非可逆的なものかは、スルメイカの生理・行動生態に関係して興味のあるものであり、さらに実験を続ける必要がある。

スルメイカは昼間深い深度に潜り夜間は水温 15°C 前後の水深まで浮上する。水温躍層を越えて深く移動するような場合は海水酸素濃度の変化が考えられ、本研究で観察された二次鰓板の変形・突出はそのような環境の変化への適応力の可能性がある。

謝 辞

北大練習船うしお丸の乗組員には、夜間長時間にわたるイカ釣りの協力を頂き、深謝する。

文 献

- 1) Jorund Sollid et al. (2003) Hypoxia induces adaptive

and reversible gross morphological changes in crucian carp gill. *The Journal of Experimental Biology*, 3667-3673.

- 2) Jorund Sollid et al. (2005) Ceration and gill morphology proliferation anoxic crucian carp. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Physiol.*, **289**, R1196-R1201.