

マダイ, クロダイの最終致死温度に及ぼす低塩分, 低酸素の影響

磯野良介^{*1§}・瀬戸熊卓見^{*2}・佐藤裕介^{*1}・吉富耕司^{*1,3}

Effects of Low Salinity and Dissolved Oxygen Concentration on Ultimate Upper Lethal Temperature in the Red Sea Bream *Pagrus major* and the Black Sea Bream *Acanthopagrus schlegeli*

Ryosuke S. Isono^{*1§}, Takumi Setoguma^{*2},
Yusuke Sato^{*1} and Koji Yoshitomi^{*1,3}

要約: マダイ, クロダイ 3 歳魚の高温耐性に及ぼす低塩分, 低酸素の影響を明らかにした。各供試魚は, 試験開始の 8 月まで自然水温下で飼育した。試験水温は, 26°C から 1 週間毎に 1°C 上昇させた。低塩分 (20, 27psu) および低酸素 (酸素飽和度 50%, 70%) の海水は, マダイでは 26°C, クロダイでは 30°C から注水した。高温下におけるマダイの死亡率は, 低塩分および低酸素の試験区で高くなった。マダイの最終致死温度 (UULT) は対照区の 33.4°C に比較し, 20psu, 酸素飽和度 50% および 70% では 1.1~1.6°C 低下した。一方, クロダイの UULT は, 各条件下で近似の 34.9~35.4°C であり, 20psu 以上または酸素飽和度 50% 以上では, これらによる影響が確認されなかった。

キーワード: マダイ, クロダイ, 高温耐性, 低塩分, 低酸素

Abstract: The thermal tolerances of two types of 3-year-old sea bream, *Pagrus major* and *Acanthopagrus schlegeli*, have been examined in relation to low salinity and dissolved oxygen (DO). Fish reared in natural seawater were transferred to test tanks in August. The tank water temperature was increased by 1°C every week starting from 26°C, and hypotonic (20, 27psu) or hypoxic (50, 70% in DO saturation) water was supplied from 26°C for red sea bream and from 30°C for black sea bream. Mortality at high temperature was clearly higher under the decreased salinity and DO condition for red sea bream. The ultimate upper lethal temperature (UULT) of red sea bream was 33.4°C in the control condition, and declined by 1.1-1.6°C under the conditions of 20psu, DO 50% and DO 70%. In contrast, the UULT of black sea bream closely ranged from 34.9 to 35.4°C and was not significantly affected by the water conditions of >20psu or >DO 50%.

Keywords: *Pagrus major*, *Acanthopagrus schlegeli*, thermal tolerance, hypotonic seawater, hypoxia

まえがき

(財) 海洋生物環境研究所では, 発電所温排水による温度上昇が海生生物に与える影響を多面的に調査している。土田 (2002) は, 放水口近傍における魚類への高温影響を明らかにするため, 日本沿岸に生息する魚類 36 種について 1 時間に 5°C

の温度上昇を与える実験を行い, これらの臨界最高温度 (CTM: critical thermal maximum) および致死温度 (UDT: upper death temperature) を明らかにした。このように多くの海水魚について, 速やかな温度上昇に対する致死温度が明らかにされる一方で, より緩やかな温度上昇に対する致死を調べた例は, 国内ではクロソイ (土田・瀬戸熊, 1997) に限られ, 生存の限界温度である高温側の

(2008年 1 月 31 日受付, 2008年 2 月 20 日受理)

*1 財団法人 海洋生物環境研究所 実証試験場 (〒945-0017 新潟県柏崎市荒浜 4-7-17)

§ E-mail: isono@kaiseiken.or.jp

*2 財団法人 海洋生物環境研究所 中央研究所 (〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田 300)

*3 現住所 独立行政法人 農林水産消費安全技術センター 本部

(〒330-9731 埼玉県さいたま市中央区新都心 2-1-1 さいたま新都心合同庁舎 検査棟)

最終致死温度 (UULT: ultimate upper lethal temperature, Fry *et al.*, 1946) に関する知見が不足している。さらに、同温度に及ぼす塩分と酸素飽和度の影響を検討した例は見あたらない。

大都市を抱える内湾域には、多くの発電所が立地する。これらの水域では流入河川の出水による低塩分化、富栄養化に伴う貧酸素水塊などを生じやすく、このような海水が冷却水として利用される可能性を否定できない。そこで、同水域において漁獲または養殖対象として重要なマダイ *Pagrus major* およびクロダイ *Acanthopagrus schlegeli* を用いて、これらの最終致死温度を明らかにするとともに、それに及ぼす低塩分および低酸素の影響を検討した。

方 法

マダイは2001年8月に新潟県柏崎市地先で釣獲した当歳魚を、当所実証試験場において3歳まで養成した。クロダイは石川県水産総合センター能登島事業所で種苗生産後、のとじま臨海公園振興協会で養成された3歳魚を2003年4、6月に入手した。いずれの供試魚も試験開始の2003年8月まで、自然水温下で冷凍アミとモイスト・ペレットを与え飼育した。試験開始時のマダイの大きさは体長 27.3 ± 1.0 cm (平均値 \pm 標準偏差、以後同様)、体重 679 ± 70 g、クロダイは体長 17.6 ± 0.8 cm、体重 172 ± 28 gであった。これらを1試験区当りマダイは5個体、クロダイは6個体をFRP製1トン水槽にそれぞれ収容した。

試験区は両供試魚について、対照区、低塩分2区 (20および27psu)、低酸素2区 (酸素飽和度50%および70%) の合計5区を設定した。試験開始時の水温は 26°C とし、以後は1週間毎に 1°C 上昇させた。この 1°C 上昇には、約4時間を要した。低塩分および低酸素の試験区は、マダイでは 26°C 、クロダイでは 30°C とした翌日から、低塩分または低酸素海水を供給し始め、2日間で各設定濃度へ変更した。低塩分海水は、活性炭ろ過器 (PCF-200A, オルガノ社) で脱塩素した水道水と濾過海水を、設定塩分になる流量で各試験水槽へのヘッドタンクへ注水して混合後、試験水槽へ配水した。低酸素海水は濾過海水に窒素ガスを通気する方法で調製し、飽和度は通気量で調整した (Fig. 1)。いずれの試験海水も0.5回転/hで掛け流した。使用した全海水は砂濾過されたもので、この海水の

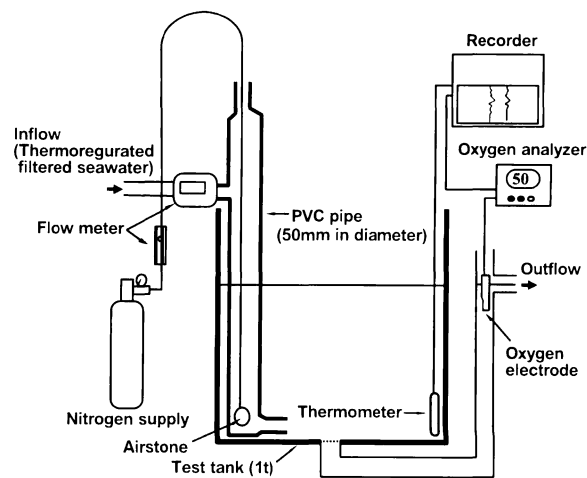


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus used to study thermal tolerance under hypoxia. The dissolved oxygen concentration of the test tanks was gradually decreased by $\sim 25\%$ a day to achieve each test condition (50, 70% in oxygen saturation).

加温にはボイラーを用いた。

試験期間中は、供試魚の生死、行動上の異常の有無を毎日観察記録した。死亡の判断基準は、鰓蓋活動の停止とした。餌料はモイスト・ペレットをマダイでは平均体重の2%、クロダイでは3%を1日1回、週に5日間与えた。残餌もしくは吐出しが生じた試験区では、翌日からの給餌量を減らした。

水温は测温抵抗体 (R900-32, チノー社) で10分毎に連続で、塩分はポータブル電気伝導率計 (CM21-P, 東亜ディーケーケー社) で1日2回、酸素飽和度はDOメーター (Model 58, ワイエスアイ・ナノテック社) で、低酸素区は10分毎に連続で他区は1日1回、pHはpHメーター (MP 230, メトラー・トレド社) で1日1回測定した。電気伝導率計は標準海水 (Ocean Scientific International Ltd.) を用いて、伝導率を塩分へ換算した。DOメーターは、ウィンクラー法 (日本気象協会, 1990) で溶存酸素量を求めた海水で校正を行った。

各試験区における半数致死温度 (LT_{50}) の算出法はJIS K0102 71 (日本規格協会, 1985) に準じ、累積の死亡率が50%に最も近い上下の値に一次式を適用し、50%の死亡率に相当する温度を内部補間して求め、これをUULTとした。

結 果

試験期間の水質をTable 1に示した。各供試魚

Table 1 Water quality in each exposure condition during the test

Test fish Exp. condition	<i>P. major</i>						<i>A. schlegeli</i>					
	Temp. (°C)		DO (%)		Salinity (psu)		Temp. (°C)		DO (%)		Salinity (psu)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
contr.	25.9 ± 0.1		95.5 ± 1.0		32.2 ± 0.4		30.0 ± 0.1		95.3 ± 1.2		32.3 ± 0.1	
	27.0 ± 0.1		94.0 ± 1.1		32.0 ± 0.4		30.9 ± 0.1		95.3 ± 1.0		32.4 ± 0.2	
	28.0 ± 0.2		94.6 ± 1.3		31.9 ± 0.1		32.1 ± 0.1		99.2 ± 5.0		32.6 ± 0.2	
	29.0 ± 0.1		93.7 ± 1.4		32.2 ± 0.1		32.9 ± 0.1		91.2 ± 1.7		32.5 ± 0.2	
	30.0 ± 0.1		93.1 ± 1.8		32.3 ± 0.1		33.9 ± 0.2		89.7 ± 2.3		33.2 ± 0.5	
	31.0 ± 0.1		93.7 ± 0.8		32.4 ± 0.2		35.0 ± 0.2		90.5 ± 2.1		33.6 ± 0.1	
	32.0 ± 0.1		96.7 ± 4.0		32.6 ± 0.2		36.0 ± 0.2		90.9 ± 0.7		33.7 ± 0.1	
	32.9 ± 0.1		88.3 ± 2.0		32.5 ± 0.1							
33.9 ± 0.1		91.3 ± 5.7		33.4 ± 0.5								
20psu	26.1 ± 0.2		96.8 ± 1.4		20.2 ± 1.2		29.9 ± 0.1		92.9 ± 1.1		20.8 ± 2.7	
	27.1 ± 0.2		95.3 ± 1.0		19.4 ± 0.3		30.8 ± 0.2		93.7 ± 0.8		20.4 ± 1.2	
	28.0 ± 0.3		95.7 ± 1.3		19.4 ± 0.1		31.9 ± 0.2		97.7 ± 5.4		19.5 ± 0.6	
	28.7 ± 0.2		95.1 ± 1.2		19.5 ± 0.1		32.7 ± 0.2		87.8 ± 1.5		19.3 ± 0.1	
	30.1 ± 0.1		92.5 ± 1.2		19.5 ± 0.4		33.9 ± 0.3		86.3 ± 4.4		19.5 ± 0.1	
	31.1 ± 0.2		92.1 ± 0.8		19.8 ± 0.3		34.9 ± 0.3		86.6 ± 0.9		19.7 ± 0.7	
	32.0 ± 0.2		96.2 ± 5.4		19.8 ± 0.3		36.0 ± 0.2		87.0 ± 1.5		19.3 ± 0.1	
	32.9 ± 0.2		89.7 ± 1.2		19.7 ± 0.1							
33.7 ± 0.2		87.5 ± 0.9		19.8 ± 0.1								
26psu	26.2 ± 0.1		96.3 ± 1.1		26.3 ± 0.5		30.0 ± 0.1		92.8 ± 0.9		25.9 ± 0.3	
	27.2 ± 0.2		94.4 ± 1.2		25.7 ± 0.3		30.9 ± 0.1		93.2 ± 0.8		25.9 ± 0.2	
	28.1 ± 0.3		94.9 ± 1.4		25.6 ± 0.1		31.9 ± 0.2		97.4 ± 5.1		26.0 ± 0.2	
	28.9 ± 0.2		93.8 ± 1.3		25.8 ± 0.1		32.7 ± 0.2		87.7 ± 1.6		25.7 ± 0.2	
	30.1 ± 0.1		91.7 ± 1.2		26.0 ± 0.1		33.9 ± 0.3		84.4 ± 1.5		25.8 ± 0.1	
	31.0 ± 0.2		93.3 ± 1.4		26.1 ± 0.3		35.0 ± 0.3		85.1 ± 0.7		25.8 ± 0.1	
	31.9 ± 0.2		97.7 ± 5.9		26.2 ± 0.2		36.1 ± 0.3		86.5 ± 1.8		25.8 ± 0.1	
	32.9 ± 0.2		85.5 ± 1.1		26.0 ± 0.2							
33.9 ± 0.2		84.1 ± 1.5		26.2 ± 0.2								
DO50	26.0 ± 0.1		56.5 ± 9.0		32.2 ± 0.4		30.0 ± 0.1		55.7 ± 9.4		32.3 ± 0.1	
	27.1 ± 0.1		51.2 ± 2.0		32.0 ± 0.4		31.0 ± 0.1		51.6 ± 4.0		32.4 ± 0.2	
	28.1 ± 0.2		51.8 ± 2.2		31.9 ± 0.1		32.0 ± 0.1		49.5 ± 3.1		32.6 ± 0.2	
	29.0 ± 0.1		51.0 ± 2.7		32.2 ± 0.1		33.0 ± 0.1		50.4 ± 4.2		32.5 ± 0.2	
	30.0 ± 0.1		49.9 ± 2.6		32.3 ± 0.1		33.9 ± 0.1		49.5 ± 3.8		33.2 ± 0.5	
	31.0 ± 0.1		52.2 ± 1.9		32.4 ± 0.2		34.9 ± 0.2		49.7 ± 3.2		33.6 ± 0.1	
	32.0 ± 0.1		49.8 ± 2.0		32.6 ± 0.2		35.9 ± 0.2		50.0 ± 1.3		33.7 ± 0.1	
	33.0 ± 0.1		50.1 ± 1.5		32.5 ± 0.1							
33.8 ± 0.1		52.2 ± 2.3		33.7 (n=1)								
DO70	26.0 ± 0.1		72.0 ± 2.5		32.2 ± 0.4		30.0 ± 0.1		71.0 ± 4.7		32.3 ± 0.1	
	27.1 ± 0.1		71.2 ± 2.6		32.0 ± 0.4		31.1 ± 0.1		70.2 ± 3.3		32.4 ± 0.2	
	28.1 ± 0.2		71.7 ± 2.0		31.9 ± 0.1		32.1 ± 0.1		70.1 ± 2.6		32.6 ± 0.2	
	29.0 ± 0.1		70.2 ± 2.3		32.2 ± 0.1		33.1 ± 0.1		68.0 ± 3.4		32.5 ± 0.2	
	30.0 ± 0.1		69.5 ± 2.4		32.3 ± 0.1		34.1 ± 0.1		68.3 ± 3.6		33.2 ± 0.5	
	30.9 ± 0.1		69.2 ± 2.6		32.4 ± 0.2		35.1 ± 0.2		68.3 ± 3.5		33.6 ± 0.1	
	32.0 ± 0.1		68.5 ± 2.4		32.6 ± 0.2		36.1 ± 0.2		71.5 ± 1.5		33.7 ± 0.1	
	32.9 ± 0.1		69.7 ± 1.1		32.5 ± 0.1							
33.8 ± 0.1		70.0 ± 1.3		33.4 ± 0.6								

Hypotonic or hypoxic water was supplied from 26°C for *P. major* and from 30°C for *A. schlegeli*. The measuring interval was 10 min for temperature in all conditions and for dissolved oxygen (DO) concentration in the hypoxic condition, and twice a day for salinity in all conditions and for DO in the control condition.

について設定した水温、低塩分および低酸素の水質は、目標とした値にほぼ調節され安定していた。塩分は低塩分区以外では32psu前後にあり、酸素

飽和度は低酸素区以外では水温上昇に伴って低下したが、平均値で84%以上に維持されていた。なお、全試験区のpHは8.1~8.2であった。

マダイの摂餌量は対照区および低塩分の2区では、26~29℃で体重の2%であったが、30℃で半減した後は温度上昇とともに更に減少し、33℃で摂餌がほぼ停止した。酸素飽和度70%区では26~28℃で体重の0.3%、29~31℃で1%と増加したが、32℃でほぼ停止した。飽和度50%区では26~31℃で体重の0.3%、32℃でほぼ停止した。クロダイの摂餌量は全試験区で34℃まで体重の3%であり、35℃で摂餌がほぼ停止した。

試験期間における各供試魚の生残数の推移をFig. 2に示した。マダイで死亡個体が出始めた水温は、酸素飽和度50%区の31℃からで、20psuと飽和度70%区では32℃から、対照区と27psu区では33℃からであった。34℃では27psu区の1個体のみが34℃への変更後2日目に死亡したが、その他の試験区では全てが変更後1日目までに死亡した。クロダイでは何れの試験区でも35℃から死亡個体が出始め、36℃への変更後3~6日目までに全数が死亡した。

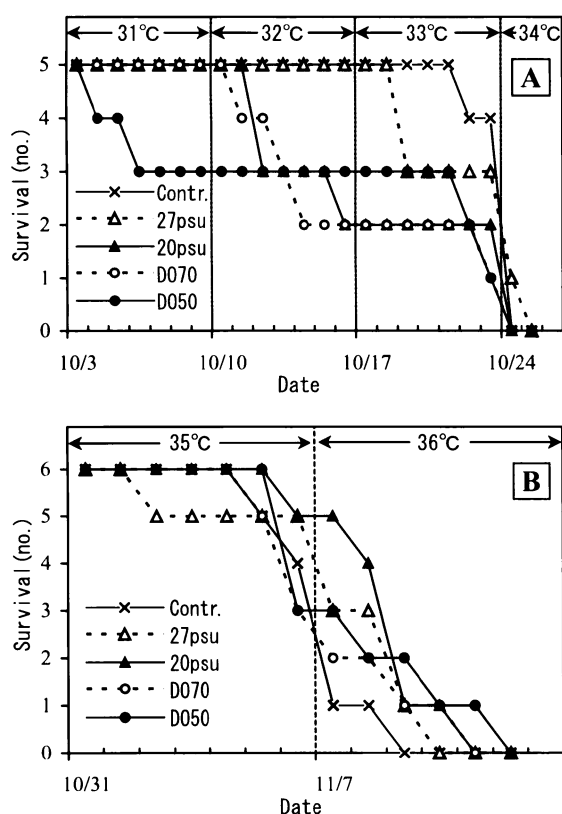


Fig. 2 Daily change in survival numbers of *P. major* (A) and *A. schlegeli* (B) under each exposure condition. The initial number of fish were 5 *P. major* and 6 *A. schlegeli*. In each condition, the temperature was increased by 1°C in a day every week starting from 26°C.

各試験区の結果を曝露期間の平均水温と累積死亡率との関係に整理し、それらの関係からLT₅₀を求めると、マダイでは31.8 (飽和度70%区)~33.4℃ (対照区)、クロダイでは34.9 (飽和度50%区)~35.4℃ (27psu区)の範囲にあった (Fig. 3)。

考 察

国内の海水魚の最終致死温度 (UULT) に関する知見は、クロソイ幼魚の30.8℃ (土田・瀬戸熊, 1997) に限られている。なお、マダイは香港産 (体重10~40g) の報告があり、48時間LT₅₀と馴致温度との関係から推定されたUULTは32℃であった (Woo and Fung, 1980)。魚類の致死温度は、成長に伴って低下傾向を示すが (土田, 2002)、香港産稚魚の32℃に対し本研究の成魚の33.4℃は約1℃高く、前述した傾向との相違が認められた。香港産マダイは、日本産と比較して成長、成熟および産卵に対する温度反応に差異が確認されていることから (村田ら, 1995)、温度耐性についてもそれぞれで異なる可能性が考えられる。

魚類の温度耐性と分布生態には密接な関係があり、マダイに比べ生息域が高温となる汽水域や浅所にも分布するクロダイでは、高温の致死温度 (UDT) が39.5℃と、マダイの37.2℃より約2℃高い (土田, 2002)。本研究で得られた3歳魚のUULTは、クロダイの35.3℃に対しマダイの33.4℃であり、UDTと同様にクロダイの方が約2℃高かった。

マダイのUULTは20psu、酸素飽和度50%および70%の条件で、対照区の33.4℃に比較し1.1~1.6℃低下したが、クロダイでは各試験区のUULTが34.9~35.4℃とほぼ同値であった。このように、クロダイに比べマダイではUULTが低いのみならず、低塩分および低酸素の条件で低下した。

一般に、海水魚を段階的に希釈海水へ移した際は、希釈海水中での生存の確率が高くなる。マダイについて環境水を100%海水から20%/日の割合で低下させて40%海水にすると、30日間にわたり外観上特別な支障もなく生存した。これは、40%海水中におかれたマダイでは腎小体の大型化と数の増加など、体内水の排出が促進される変化を生じたためとされる (板沢・早川, 1972)。本研究のマダイの20psu区では、板沢・早川 (1972) と同じ速度で塩分低下させた後に、水温を26℃から34℃へ上昇させた。このとき、マダイの体内では、

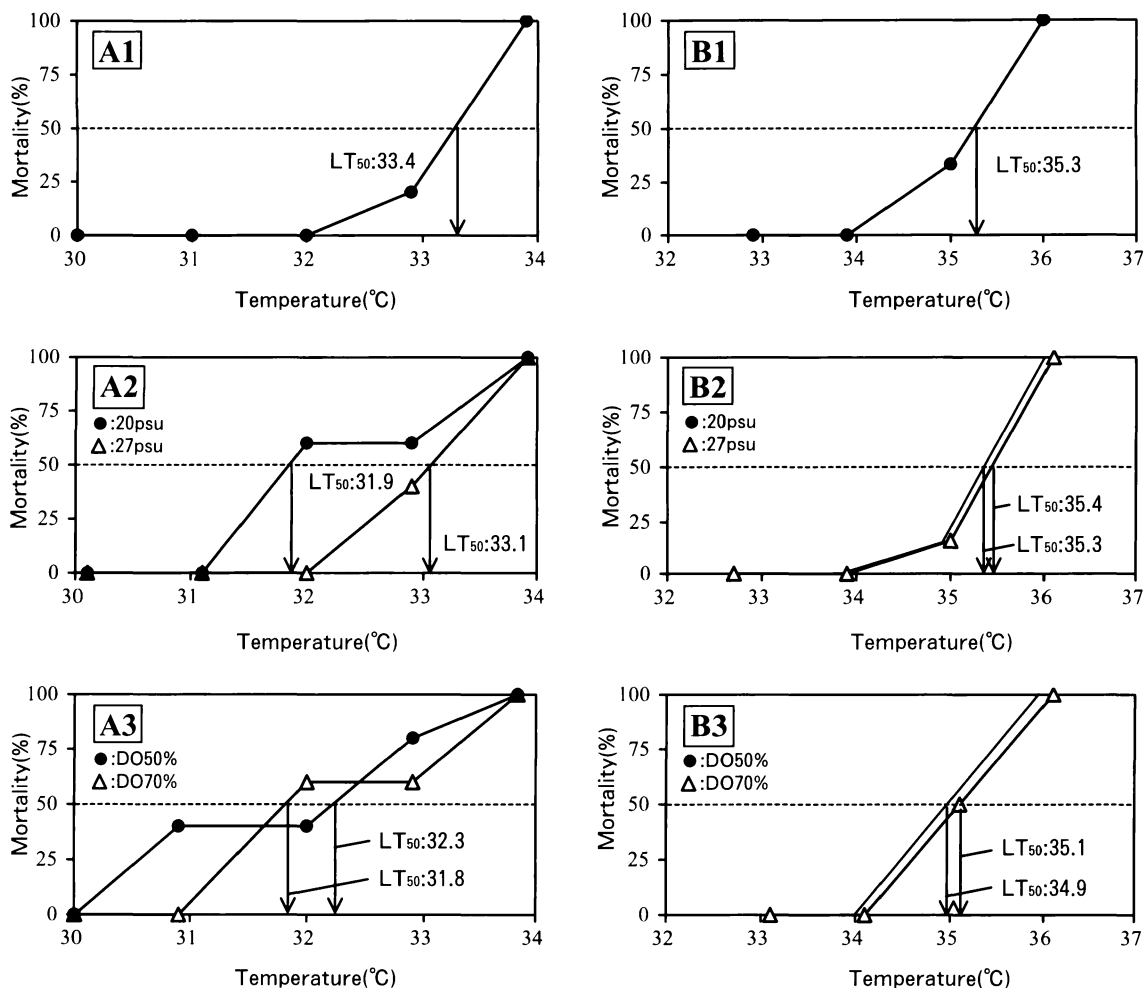


Fig. 3 Cumulative percentage mortality of *P. major* and *A. schlegeli* exposed to high temperature under normal (A1, B1), hypotonic (A2, B2) and hypoxic (A3, B3) conditions. The medium lethal temperature (LT_{50}) was interpolated using the upper and lower values from 50% mortality.

塩分低下と温度上昇に伴う代謝量増加に対応した生理・生化学的な補償反応が合わせておこり、致死温度以下では両者が十分機能することで恒常性が維持されたと考えられる。しかし、致死温度付近になると、浸透圧調節に関する補償反応が先に支障をきたすことで、20psu区では対照区より1°C低い32°Cから死亡個体を生じたと推察された。

低塩分海水に速やかに移す耐性試験によると、マダイ（体長8~10cm）は12.2‰以下で8時間以内に死亡したが（田村，1949）、クロダイは孵化後30日の個体（平均全長13mm）で既に1‰の海水で生存かつ成長する能力を有した（石渡，1979）。このように、クロダイは低塩分海水に対する調節能力が高いため、20psuでもUULTに変化がなかったと考えられた。

山元ら（1987）によると、26.6°Cにおけるマダ

イ（平均全長229mm）の酸素消費量は、酸素飽和度50%までは飽和度98%における正常値と同じであるが、飽和度41.1%では減少し、飽和度29.8%で窒息個体を生じた。また、城戸（1989）によると、28~29°Cで様々な低酸素水に96時間おかれたマダイ（平均体長21~22cm）では、飽和度73%で死亡せず、飽和度55%、47%、44%では死亡率がそれぞれ10%、40%、100%であった。これらによれば、27~29°Cではマダイの酸素摂取に関する生理機能が正常に働く下限が、飽和度41~55%付近にあると考えられた。

本研究のマダイでは、飽和度96%付近から約25%/日の割合で低下させて飽和度50%にした後に、水温を26°Cから34°Cへ上昇させた。このとき、供試魚が初めて死亡した水温は31°Cであり、飽和度50%付近で死亡個体を生じる水温が、城戸

(1989) より 2~3℃高かった。このような致死温度の違いは、低塩分条件にしばらくおかれたマダイで腎臓の排水機能が強化されたように(板沢・早川, 1972), 26℃から低酸素におかれたマダイでは、低酸素条件で体内に必要な酸素を摂取可能とする、何らかの生理・生化学的な変化が生じたためと推察される。石岡(1982)によると、低酸素におかれたマダイでは、低酸素状態への適応反応とされるコルチゾルやヘマトクリット値の上昇が観察されている。このような変化を通して、温度上昇に伴う代謝量の増加分が補償された結果、本研究では30℃まで死亡個体を生じなかったと考えられる。しかし、このような酸素摂取に関わる補償は、30℃を超えると酸素飽和度が低いほど困難になり、その結果、飽和度50%では31℃、飽和度70%では32℃と、対照区の33℃より低い温度で死亡個体を生じたと考えられた。

なお、低酸素は成長に影響することが知られており、ヘダイ(Chiba, 1983), ウナギ(山形ら, 1983), アユ(千葉, 1988a), ストライプトバス(千葉, 1988b)では、酸素飽和度40~55%以下で急激な成長率低下を生じ、その主な原因は摂餌率の低下にあった。本研究の飽和度50%および70%におかれたマダイでは、摂餌量が対照区の約1/7に減少した。既往知見は体重15g以下の稚魚に関するもので、マダイ成魚との直接比較は難しいが、飽和度70%以下ではマダイの成長が停滞する可能性があり、養殖を行う際の留意点といえる。

謝 辞

本稿への御校閲を賜った東京大学名誉教授 平野禮次郎博士, 東京大学名誉教授 沖山宗雄博士, (財)海洋生物環境研究所理事 城戸勝利博士, 有益なご助言をくださった同研究所実証試験場 太田雅隆博士ならびに道津光生博士, 同研究所中央研究所 土田修二博士に深謝いたします。

引用文献

- Chiba, K. (1983). The effect of dissolved oxygen on the growth of young silver bream. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **49**, 601-610.
- 千葉健治(1988a). アユの成長に及ぼす溶存酸素の影響について. 日水誌, **54**, 175-181.
- 千葉健治(1988b). ストライプトバスの成長に及ぼす溶存酸素の影響. 日水誌, **54**, 599-606.
- Fry, F. E. J., Hart, J. S. and Walker, K. F. (1946). Lethal temperature relations for a sample of young speckled trout, *Salvelinus fontinalis*. *Univ. Toronto Stud. Biol. Ser.*, **54**, 1-35.
- 石岡宏子(1982). 飼育水の酸素分圧低下によるマダイの血液性状変化. 日水誌, **48**, 165-170.
- 石渡 卓(1979). クロダイ種苗生産技術開発試験. 昭和52年度大阪府水産試験場事業報告, 大阪府水産試験場, 大阪, pp.97-108.
- 板沢靖男・早川 悟(1972). 海水魚の浸透圧調節に関する一実験. 希釈海中におけるマダイの浸透圧調節. 九大農学芸誌, **26**, 197-202.
- 城戸勝利(1989). 高水温条件下における海産養殖魚の溶存酸素量に対する反応試験. 海生研ニュース, **25**, 6-7.
- 村田 修・宮下 盛・那須敏朗・熊井英水(1995). 香港マダイの成長および成熟, 産卵. 水産増殖, **43**, 177-183.
- 土田修二・瀬戸熊卓見(1997). クロソイ幼魚の温度反応. 日水誌, **63**, 317-325.
- 土田修二(2002). 沿岸性魚類の温度選好に関する実験的研究. 海生研研報, **4**, 11-66.
- 日本規格協会(1985). 魚類による急性毒試験. 「JISハンドブック 公害関係」, 日本規格協会, 東京, pp.888-890.
- 日本気象協会(1990). 溶存酸素量. 「海洋観測指針」(気象庁編), 日本気象協会, pp.158-164.
- 田村 正(1949). 外圍の変化が魚類に及ぼす影響. 第10報. 数種海産魚類の希釈海水中に於ける致死時間と体重変化並に体各部の含水量変化に就て. 水産学雑誌, **54**, 48-71.
- Woo, N. Y. S. and Fung, A. C. (1980). Studies on the biology of the red sea bream *Chrysophrys major*. I. Temperature tolerance. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **3**, 121-124.
- 山形陽一・大中澄美子・原田増造・丹羽 誠(1983). ニホンウナギの成長に及ぼす溶存酸素の影響について. 日水誌, **49**, 1335-1339.
- 山元憲一・細本 誠・上村達也(1987). 低酸素下におけるマダイ, アオハタ, カワハギ, キュウセン, ハナオコゼの酸素消費量の変化. 水産増殖, **35**, 143-146.