

瀬戸内海産イカナゴ1歳魚以上の死亡に及ぼす夏眠期における水温の影響

赤井紀子・岡本繁好*

Effect of water temperature regime in the estivation period on mortality of age-1 and older Japanese sand lance *Ammodytes japonicus* in the Seto Inland Sea

Noriko AKAI, Shigeyoshi OKAMOTO*

The effect of water temperature during the estivation period on the mortality of age-1 and older Japanese sand lance (*Ammodytes japonicus*) collected in the Seto Inland Sea were examined under captive condition. During the experiment specimens were reared at low (LT, $24.3 \pm 0.3^\circ\text{C}$), middle (MT, $25.7 \pm 0.6^\circ\text{C}$) and high (HT, $26.8 \pm 1.4^\circ\text{C}$) temperature treatments respectively. Cumulative mortality rate in each treatment was 26.2% at LT, 41.1% at MT and 64.4% at HT, showing higher mortalities in water with higher temperatures during the estivation period. The relative condition factor (Kn) of the specimens at HT at the end of the experiment were also significantly lower than at LT. This suggests that age-1 and older wild sand lance may be more vulnerable to higher temperature regime during the estivation period.

キーワード：イカナゴ, 夏眠期, 高水温, 死亡

イカナゴ *Ammodytes japonicus* は瀬戸内海の重要な漁業資源のひとつであり、香川県では主として袋待網漁業により漁獲される。当該海域における本種の漁獲統計によると、その漁獲量は大きな変動を繰り返しながらも減少傾向にあり、特に近年では極端な不漁年が頻発している。瀬戸内海のイカナゴでは、水温が 24°C 以上になる7月頃から海底の砂に潜って夏眠を開始する¹⁾。夏眠中のイカナゴは摂餌しないため、夏眠中に経験する水温に依存しながら、個体の肥満度が時間の経過とともに減少していくことが知られている²⁾。一方、夏眠前に栄養状態が良かった個体では、11月頃から生殖腺が発達し、12月には夏眠終了とともに産卵活動を開始する^{3,4)}。本種の主要な夏眠場である備讃瀬戸の水温は近年上昇傾向にある⁵⁾。特に8~9月の平均水温が 27°C を超えるような年には、香川県海域で衰弱あるいはへい死したイカナゴが底びき網に入網することが確認されている⁶⁾。また、夏眠期の水温状況は夏眠期間中の死亡率に影響するばかりでなく、生存個体の再生産力にも影響することが飼育実験より示されてい

る²⁾。このため、近年の不漁と夏眠期の水温上昇の因果関係を解明することが強く求められている。一方、播磨灘や大阪湾では、産卵親魚群のうち高齢魚(1歳魚以上)の占める割合が高い年は0歳魚(シンコ)の漁獲量が多いことが報告されている⁷⁾。しかし、イカナゴ高齢魚の生物特性と環境の関係に関する情報はほとんどない。そこで、本研究では1歳魚以上の瀬戸内海産イカナゴを用いた飼育実験により、夏眠期の水温が夏眠期間中の死亡に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターが2011年3月29日から飼育していた夏眠中の播磨灘産イカナゴ親魚を、2011年6月23日に夏眠床ごと香川県水産試験場へ輸送し、自然光、自然水温下で流水飼育を行った。輸送時にへい死した個体について魚体測定および耳石による年齢査定を行ったところ、平均標準体長は1歳魚が 118.6 ± 7.3 (SD) mm (n=197)、

* 現所属：兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター

2歳魚が 125.5 ± 4.3 mm ($n = 15$), 3歳魚が 124.5 ± 1.3 mm ($n = 2$) で, 範囲は103.7–142.2 mmであった (Fig. 1)。標本の体長組成から, 3つの年齢群が重複しているため, 全長から年齢を正確に判別できないこと, 全標本のうち1歳魚が9割以上を占めていたことから, 本研究では個体の年齢を区別せず全て1歳魚以上として扱った。香川県水産試験場に輸送後, 配合飼料 (おとひめEp1, 日清丸紅飼料社製) を午前1回, 飽食給餌した。しかし, 摂餌しない個体が多くなったため, 7月1日以降は無給餌とした。

7月7日に, 0.5 kL容透明ポリカーボネート水槽4基に約130尾/基を收容し7月30日まで馴致させた。各水槽には夏眠床として粒径1~2 mmの荒砂を10 cm厚さに敷いたプラスチック製コンテナ (65×40×15 cm)⁸⁾をそれぞれ1個設置した。また, ストレスを軽減するために水槽の周囲を暗幕で覆った。夏眠開始は山田ら^{8,9)}に従い, ほぼ100%のイカナゴが潜砂した日 (7月26日) とした。砂ろ過海水を交換率10~15回転/日で各飼育水槽に注入した。また, 馴致期間中は自然水温とし, その範囲は21.5~24.0°Cであった。

水温制御を開始した7月31日を試験開始日とし, 約2か月間は目的の水温に制御し, それ以後は自然水温にて飼育を継続した。試験区は, 備讃瀬戸の夏眠床周辺海域における8~9月の最低水温, 平均水温, 最高水温を想定して低水温区 (目標設定水温24°C), 中水温区 (26°C), 高水温区 (28°C) の計3区を設定した²⁾。水温区の設定には, ろ過海水の換水率を4~5回転/日にした状態で, 海水冷却器, 海水ヒーターおよび室内冷房機によって適宜調整し, 水温を維持または約0.3–0.4°C/日の勾配で徐々に上昇させた。中水温区では8月7日に設定水温に到達し, 以降, 9月22日まで維持した。高水温区では8月9日に到達し9月7日までの30日間, 設定温度を維持した後, 0.3°C/日の勾配で26°Cへ降下させ, 中水温区同様9月22日まで維持した。9月23日以降は3区とも0.5°C/日の勾配で自然水温へ戻した (Fig. 2 (a))。

夏眠床は, エアリフト方式で砂中の間隙水が絶えず循環するように設計し⁸⁾, 飼育水温と砂中温度はほぼ一致していることから, 飼育水温を砂中温度として取り扱った。試験終了日の10月6日までの間, 夏眠床の外で死亡している個体をへい死個体とし, 累積死亡率 (累積死亡数/試験開始日の飼育尾数×100) を求めるとともに, それらの体長と体重を測定した。また, 試験開始約1か月後にあたる8月28日および試験終了日に標本の一部を砂中から取り上げ, 標準体長と体重を測定した。体サイズにばらつきが大きかったため, 肥満度については, イカナゴで通常使用される肥満度 ($CF = BW / (SL / 10)^3 * 10^3$, SL: 標準体長 mm, BW: 体

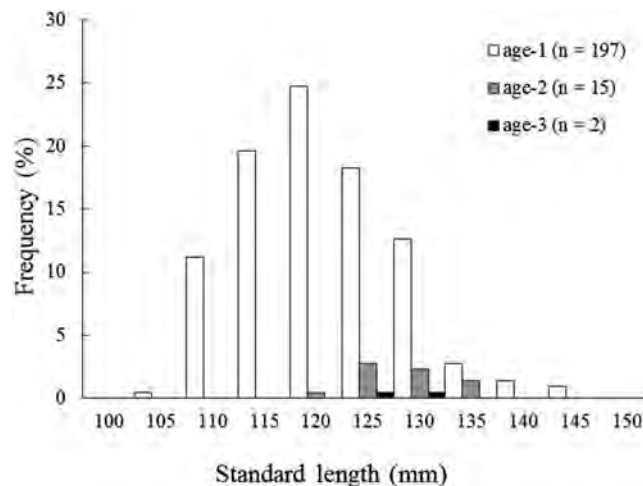


Fig. 1 Frequency of distribution of standard length in Japanese sand lance at different age classes (age 1–3 year) at the onset of experiment (June 23, 2011).

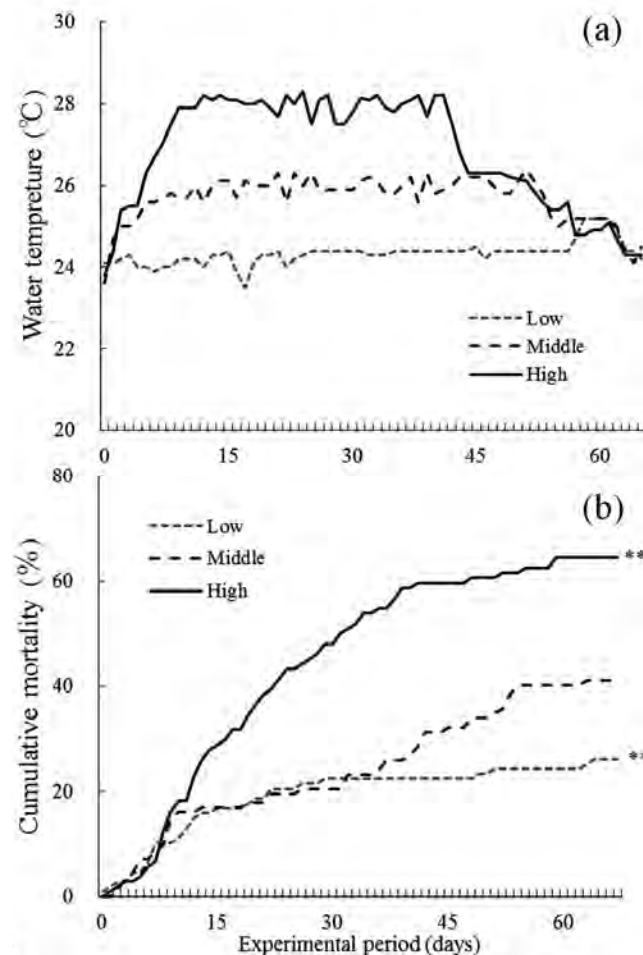


Fig. 2 Daily changes in rearing temperature (a) and cumulative mortality (b) of age-1 and older Japanese sand lance in different water temperature conditions during the estivation period. Asterisks indicate statistically significant difference (Tukey's wholly significant difference (WSD) test, $**P < 0.01$).

重 g) ではなく、相対肥満度 ($Kn = BW / (\text{Predicted BW})$) を用いた。

$$\text{Predicted BW} = 5.00 \times 10^{-7} \times \text{SL}^{3.3569}$$

$$\text{Log BW} = -6.3085 + 3.3569 \text{ Log SL}$$

$$(n = 176, r^2 = 0.52, P < 0.01)$$

試験開始日の各水温区の標本数は低水温区が107尾、中水温区が112尾、高水温区が104尾であった。

統計処理は、累積死亡率についてはカイ二乗検定により群間比較を行い、有意差が認められた場合に Tukey の比率の多重比較によって検定を行った。相対肥満度については、一元配置分散分析の後、Scheffe's *F*-test による多重検定を行った。

結果および考察

試験期間 (7月31日~10月6日) における各処理区の平均水温 ($n=64$) は低水温区で 24.3 ± 0.3 (平均値 \pm SD) °C, 中水温区で 25.7 ± 0.6 °C, 高水温区では 26.8 ± 1.4 °C, であった (Fig. 2(a))。なお、中水温区で 26°C を、高水温区で 28°C を維持した期間の水温は、それぞれ 26.0 ± 0.2 °C ($n=45$), 28.0 ± 0.1 °C ($n=30$) であった。

試験終了時の累積死亡率は低水温区では 26.2%, 中水温区では 41.1%, 高水温区では 64.4% であり、水温が高いほど死亡率が高くなった (Fig. 2(b))。また、高水温区では 28°C 到達後 15 日間の累積死亡率が 28.8%

と高く、後半の 15 日間は 15.4% に減少し、以降、徐々に死亡率が低下した。中水温区では、試験開始日から 26°C を維持した 45 日間で散発的にへい死が認められた。特に、水温を降下させる前 15 日の累積死亡率が 12.5% と最も高かった。試験開始から設定水温に到達するまでの 9 日間は、累積死亡率が 9.8–12.5% と各区とも高かったため、死亡率の検定は試験開始 10 日目から終了時の累積死亡率で解析した。その結果、低水温区が 17.7%, 中水温区が 34.7%, 高水温区が 59.3% で、高水温区の死亡率は他の 2 区よりも有意に ($P < 0.01$) 高かった。赤井ら²⁾が 0 歳魚で実施した飼育試験結果では、24°C 区、26°C 区、28°C 区 (それぞれ 2 か月間設定水温を維持) における試験終了時の累積死亡率は 3.0%, 13.7%, 29.7% であり、水温が高いほど死亡率が高くなる傾向は一致した。一方、本研究での 1 歳魚以上の群と 0 歳魚群の死亡率を比較すると、いずれの水温区においても前者が後者よりも高いことが判明した。魚類の水温の適性や耐性は発育段階によって変化することが知られており、一般に、大型・高齢魚は小型・若齢魚に比べて低水温を選択することが知られている¹⁰⁾。このため、年齢間における夏眠期の死亡率の差異は、体サイズに依存した水温耐性の違いを反映しているのかもしれない。

試験終了時の相対肥満度は、高水温区で低水温区と比べて有意に低く ($P < 0.05$) (Table 1), 高水温によ

Table 1 Mean standard length (SL), body weight (BW) and relative condition factor (Kn) of age-1 and older Japanese sand lance reared under three different temperatures in each sampling day

	Temperature treatments	n	Aug.28		Oct.6-7	
			n		n	
SL(mm)	Low	10	122.4	\pm 6.8	69	120.3 \pm 8.6
	Middle	10	122.9	\pm 5.5	52	118.4 \pm 6.1
	High	10	122.5	\pm 8.6	26	122.2 \pm 7.5
BW(g)	Low	10	5.84	\pm 1.41	69	5.09 \pm 1.62
	Middle	10	4.96	\pm 1.40	52	4.54 \pm 1.25
	High	10	5.46	\pm 1.65	26	4.81 \pm 1.57
Kn	Low	10	1.16	\pm 0.20	69	1.06 \pm 0.13*
	Middle	10	0.96	\pm 0.15	52	0.99 \pm 0.13
	High	10	1.06	\pm 0.17	26	0.94 \pm 0.12*

Values indicate the mean \pm standard deviations

$Kn = BW / (\text{Predicted BW})$

$\text{Predicted BW} = 5.00 \times 10^{-7} \times \text{SL}^{3.3569}$

Asterisks indicate statistically significant difference (Scheffe's *F*-test, * $P < 0.05$).

る基礎代謝量の増加を窺わせた。前述の0歳魚の飼育試験結果では²⁾、高水温区ほど基礎代謝に多くのエネルギーが消費されるため、その後の再生産過程において、生存個体の一部は成熟不能になり、成熟可能な個体においてもよう卵数が減少することが示されている。よう卵数は、年齢や体長に比例して増加するため⁴⁾、高齢魚は0歳魚に比べて多産であると考えられる。備讃瀬戸のイカナゴでは、1歳魚以上の親魚密度の割合が高い年には加入尾数が多い傾向が認められており、資源管理の面からも年齢構成を考慮した産卵親魚群の再生産力を評価することが求められている。このため、夏眠期の高水温が高齢魚の再生産に及ぼす影響についても今後さらに検討する必要がある。

最後に、本研究の実施にあたり、飼育管理において多大なご協力をいただいた内海範子氏に深謝いたします。また、本論文をまとめるにあたり、有益なご助言と丁寧なご校閲を賜りました水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所の米田道夫博士に心よりお礼申し上げます。

文 献

- 1) 井上明・高森茂樹・国行一正・小林真一・仁科重己：1967, イカナゴ漁業の生物学的研究. 内海水研報, **25**, 1-335.
- 2) 赤井紀子・内海範子：2012, 瀬戸内海産イカナゴの死亡と再生産に及ぼす夏眠期における高水温飼育の影響. 日水誌, **78**, 399-404.
- 3) 反田 實・岡本繁好：1992, 瀬戸内海東部海域におけるイカナゴの資源変動－生態的視点から－. 水産海洋研究, **56**, 201-205.
- 4) 浜田尚雄：1985, 我が国におけるイカナゴの生態と漁業資源. 水産研究叢書, **36**, 日本水産資源保護協会, 東京, 1-82.
- 5) 山本昌幸：2003, 瀬戸内海中央部の備讃瀬戸における水温と塩分の長期変動. 水産海洋研究, **67**, 163-167.
- 6) 赤井紀子・中條昭夫・内海範子：2012, イカナゴ資源対策研究事業. 平成22年度香川県水産試験場事報, 17-18.
- 7) 浜田尚雄：1966, 播磨灘, 大阪湾におけるイカナゴ発生変動に関する研究-Ⅲ, 産卵期前後の海気象との関係. 日水誌, **32**, 579-584.
- 8) 山田浩且・久野正博：1999, 夏眠期における伊勢湾産イカナゴのへい死条件. 三重水技研報, **8**, 1-5.
- 9) 山田浩且・久野正博：1999, 伊勢湾産イカナゴの成熟に及ぼす水温および光周期の影響. 水産海洋研究, **63**, 14-21.
- 10) H. O. Pörtner, HO, Peck, M. A. : 2010, Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. J. Fish Biol., **77**, 1745-1779.

要 旨

夏眠期の水温条件（低水温，中水温および高水温）が瀬戸内海産イカナゴ1歳魚以上の死亡へ及ぼす影響を飼育試験により調べた。試験終了時にあたる67日後の累積死亡率はそれぞれ26.2%，41.1%および64.4%で、水温が高いほど死亡率が高くなる傾向が認められた。また、試験終了時における高水温区の相対肥満度は低水温区に比べて有意に低かった（ $P < 0.05$ ）。天然海域においても夏眠期の高水温はイカナゴ1歳魚以上の死亡要因になるとともに、基礎代謝により多くのエネルギーが消費される可能性が示唆された。