

タウナギの特異的血液性状

佐伯 実香*・北川 哲郎**・久保 喜計*

* 近畿大学農学部環境管理学科・** 近畿大学大学院農学研究科環境管理学専攻

Hematological characteristics of the swamp eel, *Monopterus albus*

Mika SAEKI*, Tetsuro KITAGAWA** and Yoshikazu KUBO*

* Department of Environmental Management, Kinki University, 3327-204 Nakamachi, Nara, 631-8505, Japan

** Program in Environmental Management, Graduate School of Agriculture, Kinki University, 3327-204 Nakamachi, Nara, 631-8505, Japan

Synopsis

The swamp eel, *Monopterus albus* is widely distributed in tropical and subtropical freshwaters such as Southeast China, the Korean Peninsula, Taiwan, India, Malay Peninsula, East Indies and Ryukyu archipelago, Japan. As physiological information on the swamp eel has only been marginally accumulated, blood properties need to be clarified by a chemical analysis. Hematological characters were measured by the five blood parameters: Hematocrit Value (Ht), Hemoglobin Volume (Hb), Red Blood Cell (RBC), White Blood Cell (WBC), and length of Erythrocyte. Moreover, three erythrocytes indices were calculated by blood parameters: Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH), Mean Corpuscular Volume (MCV) and Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC). The blood character of the swamp eel was confirmed by the cluster-analysis with the properties of blood from 32 marine fishes and 22 freshwater fishes. The swamp eels were activated with increasing temperature, but died when the temperature rose above 39°C. The activity of the fishes declined as the water temperature decreased. In blood properties of swamp eels, compared to general freshwater fish, Ht and Hb are high. The values of Ht, Hb and RBC were rose when cooled to 0°C, but erythrocytes indices showed homeostasis from 0 to 35°C. The results suggested that the swamp eel has a distinctive blood property and a unique mechanism for adapting to cold temperatures by fasting.

Keywords: Synbranchidae; oxygen transport; eurythermal; breeding experiment

タウナギ *Monopterus albus* は (Fig. 1), タウナギ目タウナギ科に属する純淡水魚で, 朝鮮半島, 中国東南部からインドネシアまでの東アジアならびに東南アジアの低湿地に広く分布している¹⁾。我が国においては, 中国大陸から持ち込まれた外来個体が関東平野の一部と西日本に定着しているほか, 沖縄県の一部に在来と見られる個体群が生

息し^{2,3)}, 最新の環境省版レッドリストにおいては“*Monopterus* sp.”として絶滅危惧 IA に指定されている⁴⁾。

本種は, 水田の畔に穴を穿つことで灌漑水を流失させるうえ, 一部では養殖魚を食害することから, 日本では一般的に害魚として扱われている⁵⁾。体型はウナギ型で, 表皮は粘膜で覆われ鱗がなく, 鰭はほとんど退化するという特殊な形態を呈する⁶⁾。さらに, 口腔内の粘膜を介した空気呼吸が可能であること⁷⁾, 繁殖時には雄が底泥にU字型の巣穴を穿って泡巣を作成し孵化仔魚を口内保育すること⁸⁾, 体長約 450 mm で雌から雄へ性転換をする雌性先熟型性転換魚であることなど, 数多くのきわめて特異な生態を有することが報告されている⁹⁾。本種は水田環境に適応し, 幅広い温度帯に耐えることから乾燥や貧酸素環境に



Fig. 1. The swamp eel, *Monopterus albus* in life, from Nara Prefecture, August 2012.

強い耐性を示すと考えられるが、詳細な適応機構については明らかとされていない。とりわけ生理学特性は、生命維持において重要な要素となるが、赤血球の表面構造や組織構造、空気呼吸に大きく依存する酸素収支が示されたのみで^{10,11)}、飼育実験に基づく実証的な研究は行なわれていない。極限環境への適応の背景となる生理機能を明らかにすることは、魚類の適応進化を論ずるうえで重要な基礎情報となり得る。そこで本研究では、本種が有する特異な生態の背景となる適応機構の一端を明らかとすることを目的として、体内環境の恒常性の維持において重要な役割を果たす血液性状の分析を試みるとともに、飼育環境下における水温操作に伴う血液性状の変化について検証した。

材料および方法

順致飼育

供試魚には、2012年6-9月に奈良県大和郡山市内の用水路および河川で採集した30個体(258-465 mm TL; 12.2-79 g BW)を用いた。供試魚は、断熱シートおよび発砲スチロール片で側面と底面を覆った57 l ガラス製水槽(600×300×360 mm, 以下、飼育容器)に収容し、約1週間の順致飼育の後に血液性状の検証に供した。なお、飼育容器の上部には脱走防止のためにガラス蓋を設置した。飼育容器には20 W 白熱蛍光灯を用いて長日処置を施し(14 hL-10 hD)、投げ込み型160 W ヒーター(マイクロパワーヒーター: コトブキ工業, 以下、ヒーター)を用いて水温を一定に保った(25°C)。飼育中の供試魚にはコイ用配合飼料(ひかり胚芽浮上: キョーリン)を、毎日10時と17時に飽食量を与えた。

水温操作実験

水温操作実験は、ヒーターならびに投げ込み式177 W クーラー(MC-75: ゼンスイ)を用いて実施した。実験中は、採集時の水温であった25°Cを起点とし、下限を0°C、上限を35°Cとして水温を1日1°Cずつ操作した。飼育水温の操作は冷却処理から開始し、0°C下で1週間経過観察した後に残存するすべての供試魚を取り上げた。冷却処理の終了後には、ただちに水温を25°Cに調整して新たな供試魚を投入し、加温処理を施した。

供試魚は5日に1度、5°C間隔で3個体ずつを取り上げて採血に供し、分析試料を採集した。採集から水温操作実験に供するまでの供試魚は、順致飼育と同様の環境下においた。

採血ならびに外部形態の測定

分析試料となる血液は、供試魚を麻酔薬を溶解した水溶液(FA100: 田辺製薬, 以下、麻酔薬)に浸漬した後、表皮粘液を除去した供試魚の肛門1 cm 後方からヘパリン処理を施した10 ml 遠心管内に採取した。採血後の個体は、高濃度の麻酔薬中で安楽死させ、雌雄判別および外部形態の測定に供した。測定項目には体重、全長、肛門全長、肛門後長の4項を選定した。測定後には全個体を解剖し、雌雄を判別した。

血液性状分析

本研究では、血液の一般検査項目である相対赤血球容量(Ht)、ヘモグロビン量(Hb)赤血球数(RBC)、白血球数(WBC)、を測定し^{12,13)}、さらに血液の恒常性を示す指数として、赤血球恒数を算出した。また、血液塗沫標本を作成し、水温変化にともなう赤血球の長・短径の変化を観察した。各手法については以下に詳述する。

相対赤血球容積:ヘマトクリット毛細管に封入した血液をヘマトクリット遠心機で遠心分離(6,000 rpm/10 min)し、赤血球が血液中に占める容積を百分率(%)で示す毛細管法(マイクロヘマトクリット法)を用いて測定した。

ヘモグロビン量:血液検査用ヘモグロビンキット(ヘモグロビンB-テストワコー: 和光純薬工業)を用いて測定し、既定の計算式($Hb = E_S / E_{Std} \times 15.0$, E_S : 吸光度, E_{Std} : 標準吸光度)を参照して算出した。

赤血球数:赤血球用メランジュール内に吸入した血液を生理食塩水で1/200濃度に希釈し、トーマの血球計算盤上で1 μ l 中の赤血球数を計測した。

白血球数:赤血球数測定と同様の処理を加えた後、チュルク液(メルク社)を溶媒としてさらに10倍に希釈し、トーマの血球計算盤上で1 μ l 中の白血球数を計測した。

血液塗沫標本:池田ほか(1986)に従って塗沫標本を作成し¹⁴⁾、画像解析ソフト(Image J, 1.4.5, Windows)上で血球200個の長・短径を測

定した。

赤血球恒数：上記で求めたHt, Hb, RBCの数値に基づき、1個の赤血球に含まれるヘモグロビン量の平均値を示す“平均赤血球ヘモグロビン量(MCH)”，赤血球の平均の容積を示す“平均赤血球容量(MCV)”，一定量の赤血球中にどの程度のヘモグロビンが含まれているかを示す“平均赤血球ヘモグロビン濃度(MCHC)”を、下記の式を用いてそれぞれ算出した。

$$\text{MCH (pg)} = \text{Hb (g/dl)} \times 10 / \text{RBC (} 10^6 / \mu\text{l)}$$

$$\text{MCV (}\mu\text{m}^3) = \text{Ht (\%)} \times 10 / \text{RBC (} 10^6 / \mu\text{l)}$$

$$\text{MCHC (\%)} = \text{Hb (g/dl)} \times 100 / \text{Ht (\%)}$$

血液性状のクラスタリング

水温 25°C における本種の血液性状と、板沢(1991)ならびに角埜ほか(1994, 1996)が示した淡水ならびに海水魚54種の血液性状とを比較し、本種の血液性状がどのような傾向を有するのかを検証した^{15,16,17)}。本研究では、Ht, Hb, RBCを変数としたユークリッド平方距離に基づくクラスタ分析を実施し、本種に似た血液性状を有する魚類を調査した。なお、今回の分析では、用いた変数が少ないために最近隣法、最遠隣法、群平均法、Ward法による樹形図を作成し、4種の図から他魚種との関係を総合的に判断した。

結 果

飼育下におけるタウナギの行動

供試魚は、水温 20°C を下回ると摂餌量が減少し、10°C 付近まで低下すると完全に摂餌を停止した。さらに、水温 5°C に至ると呼吸行動がほとんど見られなくなり、0°C 付近では手で刺激を与えても反応をしなくなったが、飼育を中止した7日間後までに斃死個体は生じなかった。他方で、水温 30°C を超えると空気呼吸の回数を増し、水槽内で円を描くような行動を繰り返すようになるなど顕著に活性化したが、水温 39°C に至ると残存していた3個体すべてが斃死した。

血液性状

今回の実験に供した個体はすべて雌であった。採集時の環境水温であった 25°C における3個体の値は、Ht : 53.4 ± 2.1% (平均値 ± 標準偏差)、

Hb : 19.3 ± 0.3 g/dl, RBC : 2.19 ± 0.1 (10⁶/μl), WBC : 19,025.0 ± 2,072.2 (10²/μl), 赤血球長径 : 11.4 ± 1.1 μm, 赤血球短径 : 8.2 ± 1.2 μm で、算出された赤血球恒数はMCH : 88.6 ± 3.5 pg, MCV : 245 ± 4.2 μm³, MCHC : 36.2 ± 1.0%であった (Table 1, 2)。

クラスタ分析の結果、群平均法と最遠隣法ではほぼ同様の樹形図が導き出され、本種は代表的な淡水魚類であるコイ目よりも海産スズキ目の近くにクラスタリングされた (Fig. 2B, C)。また、最近隣法では今回用いた全ての種と全く異なる位置に、Ward法ではスネークヘッド *Channa argus*, ゴマサバ *Scomber australasicus*, カツオ *Katsuwonus pelamis* に近い位置に、それぞれクラスタリングされた (Fig. 2A-D)。

水度に伴う性状の変化

水温 5-35°C の範囲では Ht, Hb, RBC の値に変化は見られず、採集時の水温である 25°C での測定結果と同様の傾向を示した。しかし、0°C における数値は、Ht : 65.5 ± 3.3%, Hb : 24.2 ± 2.4 g/dl, RBC : 3.3 ± 0.5 (10⁶/μl) で、常温下と比較して上昇傾向が認められた (Fig. 3)。しかし、赤血球恒数の算出に関連する全ての項目が同様に上昇したため、水温変化にともなう赤血球恒数の変化は生じなかった (MCH : 74.0 ± 15.7 pg, MCV : 198.4 ± 16.7 μm³, MCHC : 37.0 ± 5.1% ; Fig. 4)。また、白血球数には、飼育温度変化に応じた変化は見られなかった (Fig. 3)。赤血球長・短径については、各温度間に差異が生じたものの、水温変化に比例的な変化は認められなかった (Steel-dwass test, $P < 0.01$; Fig. 5, 6)。

考 察

血液性状に見られた特異性

今回の血液性状比較に供した54魚種中において、本種の Ht ならびに Hb は、代表的な淡水魚類であるコイ目13種の平均値 (Ht : 32.6 ± 5.1%, Hb : 8.0 ± 1.6 g/dl, RBC : 1.7 ± 0.3 [10⁶/μl]) よりも著しく高く、むしろ海産スズキ目に比較的近い数値を示した。とりわけ、スズキ目の中でも遊泳性の高いサバ科の近くにクラスタリングされた。対して、RBC はコイ目魚類とほぼ同様の値を示した。Ht, Hb の値が高く、赤血球数が低く

なったが、この傾向は *Monopterus* 属の血球サイズが大きいことによると考えられる¹⁰⁾。以上により、分析に用いた変数がきわめて少なく解析手法間における差異が大きかったものの、本種は一般の淡水魚よりも著しく濃厚な、きわめて特異な血液性状を有すると強く示唆された。

極限環境への適応機構

空気呼吸魚において、一般に高温環境下では酸素需要が拡大するとされているが¹⁸⁾、任意空気呼吸魚である本種においても行動の活性化など同様の傾向が見られた。また、極低温環境ではほとんどの行動が停止し、代謝機能の低下が示唆された。赤血球恒数の値は水温変化によらず安定し、本種の酸素運搬能力は、今回設定した温度帯においては恒常性を示すことが示された。一般的な魚類において、絶食や疾病は Ht 値の低下を招くとされるが¹⁹⁾、本種の Ht 値には、絶食後約10日目にあたる水温 0°C に上昇傾向が認められた。加えて、本研究では、タウナギを極低水温下で20日間以上絶食状態においたが、斃死個体は生じず、免疫性能を示す白血球数においても水温変化に比例的な変化は認められなかった (Fig. 3)。絶食をとともう極低温下における本種の血液性状は一般則と全く逆の反応を呈し、本種は極低温環境に対する特異な適応機構を有していると示唆された。魚類の低温適応の代表例としては、南極海に生息するノトセニア亜科の不凍糖ペプチドが知られているが²⁰⁾、本種の血液にもそれに類する何らかの成分が含有している可能性がある。今後は、より詳細な生化学分析から本種の血液の組成を明らかとし、適応機構の中核となる成分を特定することが求められる。

要 約

空気呼吸など数々の特異な生態を有するタウナギ *Monopterus albus* の、温度変化への適応機構の一端を明らかとするため、飼育水温変化にとともなう血液性状の変化を調査した。また、海産魚32種、淡水魚22種の血液性状との比較により、本種の特異性について検証した。血液性状分析では、相対赤血球容積 (Ht)、ヘモグロビン量 (Hb)、赤血球数 (RBC)、白血球数 (WBC) を計数するとともに、赤血球の長・短径を測定し、さらに赤血

球の恒常性をあらかず平均赤血球ヘモグロビン量 (MCH)、平均赤血球容量 (MCV)、平均赤血球ヘモグロビン濃度 (MCHC) を算出した。供試魚の行動は水温の上昇とともに活性化したが、39°C にいたると残存する全個体が斃死した。また、水温 10°C 付近では摂餌行動、5°C を下回ると呼吸行動は顕著に減少したが、水温低下にとともなう斃死個体は生じなかった。血液性状分析において、Ht、Hb、RBC の比はコイ科魚類に似た傾向を示したが、Ht ならびに Hb の値がきわめて高く、むしろ海産スズキ目に近いという結果が得られた。0°C 付近で Ht、Hb、RBC の上昇が見られたが、赤血球恒数に変化は生じず、本研究で設定した温度帯では血液恒常性が維持されることが示された。以上により、本種の血液性状は他の淡水魚類と比べて著しく濃厚で、絶食をとともなう極低温環境に対する適応機構が備わっていると示唆された。

謝 辞

本論文の作成にあたり、終始適切な助言を賜り、また丁寧な指導して下さった本学水圏生態学研究室の細谷和海教授に深謝の意を示す。さらに、実験機材を貸与いただいた環境化学研究室の坂上吉一教授、越智淳子氏、乗船沙紀氏、実験に際して多くの助力をいただいた小田優花氏、助言をいただいた朝井俊亘博士をはじめとする水圏生態学研究室の院生、学生諸氏に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 中坊徹次・甲斐嘉晃 (2013) タウナギ科. 日本産魚類検索 全種の同定 第三版. 中坊徹次 (編), 東海大学出版会, 神奈川, pp. 1903.
- 2) 立原一憲 (2005) 琉球列島にすむ魚. 希少淡水魚の現在と未来 積極的保全のシナリオ. 片野 修・森 誠一 (編), 信山社, 東京, pp. 295-310.
- 3) Matsumoto, S., T. Kon, M. Yamaguchi, H. Takeshima, Y. Yamazaki, T. Mukai, K. Kuriwa, M. Kohda, and M. Nishida (2010) Cryptic diversification of the swamp eel

- Monopterus albus* in East and Southeast Asia, with special reference to the Ryukyuan populations. *Ichthyol. Res.*, 57, 71-77.
- 4) 環境省 (2013) レッドリスト 汽水・淡水魚類. 環境省, 7 pp.
 - 5) 松本清二・永井信夫・今西塩一・蓮池宏一・幸田正典 (1998) 奈良県及びその周辺域での移入魚タウナギの分布拡大. *日本生態学雑誌*, 48, 107-116.
 - 6) 今谷信夫 (1980) タウナギ・おとなしい侵略者. *日本の淡水生物 侵略と攪乱の生態学*. 川合禎次・川那部浩哉・水野信彦 (編), 東海大学出版社, 東京, pp. 87-92.
 - 7) Munshi, J. S. D., G. M. Hughes, P. Gehr and E. R. Weibel (1989) Structure of the air-breathing organs of a swamp mud eel, *Monopterusuchia*. *J. Jour. Ichthyol.*, 35, 453-465.
 - 8) 松本清二・岩田勝哉 (1996) タウナギの雄による卵保護と仔稚魚の口内保育. *魚類学雑誌*, 44, 35-41.
 - 9) Liem, K. F. (1963) Sex reversal as a natural process in the Synbranchiform fish *Monopterus albus*. *Copeia*, 1963, 303-312.
 - 10) Ahamad, M., T. K. Ghosh, A. Moitra and J. S. D. Munshi (1990) Scanning electron microscopy of blood cells of an air-breathing swamp mud eel *Monopterus (Amphipnous)uchia*. *Cytologia*, 55, 15-19.
 - 11) Liem, K. F. (1967) Functional morphology of the integumentary, respiratory and digestive systems of the sybranchoid fish *Monopterus albus*. *Copeia*, 1967, 375-388.
 - 12) 小嶋義樹 (1998) 血液に関する実験. *生化学実験*. 林 淳三 (編), 建帛社, 東京, pp. 101-117.
 - 13) 鈴木泰三 (1972) 血液. *生理学通論Ⅲ*. 鈴木泰三・田崎京二・中浜 博 (編), 共立出版, 東京, pp. 1-21.
 - 14) 池田彌生・尾崎久雄・瀬崎啓次郎 (1986) 末梢血塗沫標本の作り方. *魚類血液図鑑*. 緑書房, 東京, pp. 7-10.
 - 15) 板沢靖男 (1991) 血液. *魚類生理学概論*. 田村 保 (編), 厚生閣恒星社, 東京, pp. 34-83.
 - 16) 角埜 彰・瀬崎啓次郎・池田彌生 (1994) 魚類赤血球の血液学的比較 - I スズキ目50魚種における赤血球の比較. *中央水研究所研究報告*, 6, 23-40.
 - 17) 角埜 彰・瀬崎啓次郎・池田彌生 (1996) 骨鰾類33魚種における赤血球の比較. *中央水研究所研究報告*, 8, 15-27.
 - 18) 板沢靖男 (1991) 呼吸. *魚類生理学*. 板沢靖男・羽生 功 (編), 厚生閣恒星社, 東京, pp. 1-34.
 - 19) 岩井 保 (1985) 水産脊椎動物Ⅱ 魚類. 恒星社, 東京, 335 pp.
 - 20) 岩見哲夫 (1996) 極域に生息する魚類にみられる寒冷適応. *Organ Biology*, 3, 25-31.

Table 1. Morphological statuses and blood characteristics of the specimens

Number of sample	Temperature (°C)	Total length (mm)	Preal length (mm)	Postanal length (mm)	Weight (g)	Ht (%)	RBC ($10^6/\mu\text{l}$)	WBC ($10^2/\mu\text{l}$)	Hb (g/dl)	MCH (pg)	MCV (μm^3)	MCHC (%)
1		457	322	135	79.0	62.9	3.0	14,500.0	24.2	79.9	207.6	38.5
2		302	222	80	22.0	69.3	3.9	20,905.0	21.7	56.2	179.1	31.4
3	0	288	203	85	17.5	64.4	3.1	15,205.0	26.6	86.0	208.4	41.3
mean						65.5	3.3	16,870.0	24.2	74.0	198.4	37.0
4		272	197	75	18.0	69.5	2.6	15,205.0	30.0	115.9	268.3	43.2
5	0*	270	192	88	15.6	65.5	3.1	13,915.0	27.0	87.2	211.3	41.3
6		258	184	74	12.2	63.0	3.5	15,620.0	22.9	65.1	179.0	36.3
mean						66.0	3.1	14,913.3	26.7	89.4	219.5	40.3
7		370	unmeasurable	unmeasurable	93.2	51.0	1.9	17,740.0	16.4	85.9	267.0	32.2
8		352	246	106	38.7	49.4	2.1	18,485.0	16.5	76.9	230.8	33.3
9	5	251	184	65	15.1	50.0	1.4	16,740.0	13.2	92.3	349.7	26.4
mean						50.1	1.8	17,655.0	15.4	85.0	282.5	30.6
10		424	319	105	47.1	50.0	2.2	18,000.0	19.0	87.5	230.4	38.0
11		328	228	100	27.9	52.2	2.4	16,685.0	20.2	85.7	221.2	38.7
12	10	427	297	130	61.4	53.9	2.3	17,245.0	16.5	71.1	232.3	30.6
mean						52.0	2.3	17,310.0	18.6	81.4	228.0	35.8
13		437	317	120	68.1	48.7	1.8	12,730.0	18.2	102.7	275.1	37.3
14		356	254	102	44.2	44.7	2.1	17,565.0	16.2	78.1	215.9	36.2
15	15	282	207	75	19.6	49.4	2.0	15,395.0	19.6	100.5	253.3	39.7
mean						47.6	1.9	15,230.0	18.0	93.8	248.1	37.7
16		465	331	134	78.8	43.0	2.3	12,560.0	14.4	64.2	191.1	33.6
17		359	254	101	42.9	45.5	2.1	12,255.0	17.2	82.1	216.7	37.9
18	20	316	224	92	26.5	49.6	2.3	17,650.0	21.5	91.8	212.0	43.3
mean						46.0	2.2	14,155.0	17.7	79.4	206.6	38.3
19		424	299	125	63.9	53.2	2.2	17,110.0	19.1	89.0	247.4	36.0
20		394	274	120	43.4	51.5	2.1	18,740.0	19.2	91.9	246.4	37.3
21	25	350	249	101	32.7	55.6	2.3	21,225.0	19.7	84.9	239.7	35.4
mean						53.4	2.2	19,025.0	19.3	88.6	244.5	36.2
22		377	272	105	48.5	52.3	2.1	16,785.0	17.5	83.9	250.2	33.5
23		369	267	102	36.7	51.7	1.6	18,740.0	16.9	104.1	319.1	32.6
24	30	347	254	93	29.5	50.6	2.4	20,875.0	19.9	84.1	213.5	39.4
mean						51.5	2.0	18,800.0	18.1	90.7	261.0	35.2
25		378	266	112	45.0	47.6	1.7	16,565.0	13.6	81.3	285.0	28.5
26		367	260	107	36.5	55.2	2.6	19,890.0	21.9	83.4	210.7	39.6
27	35	300	216	84	17.6	60.6	2.3	19,000.0	22.9	100.2	264.6	37.9
mean						54.5	2.2	18,485.0	19.5	88.3	253.4	35.3

* Seven days after.

Table 2. The data set of the blood characteristics used to cluster analysis

Species	Ht (%)	RBC ($10^6/\mu\text{l}$)	Hb (g/dl)	MCH (pg)	MCV (μm^3)	MCHC (%)
<i>Monopterus albus</i>	53.4	2.19	19.3	88.6	245	36.2
<i>Myxine garmani</i> ^{*1}	22.2	0.15	4.6	318	1,480	20.7
<i>Carcharhinus albimarginatus</i> ^{*1}	19.3	0.22	3.6	161	877	18.7
<i>Neotrygon kuhlii</i> ^{*1}	13.6	0.14	2.2	148	971	16.2
<i>Oncorhynchus mykiss</i> ^{*1}	38.6	1.38	6.8	52	280	17.6
<i>Anguilla japonica</i> ^{*1}	33.7	2.72	9.4	35	124	27.9
<i>Scomber australasicus</i> ^{*1}	50.6	3.8	13.8	36	133	27.3
<i>Katsuwonus pelamis</i> ^{*1}	53.3	3.92	14.1	36	136	26.5
<i>Lagocephalus sp.</i> ^{*1}	38.3	2.59	8.8	34	148	23
<i>Lateolabrax japonicus</i> ^{*2}	27.8	2.22	6.1	28.2	130	22.0
<i>Hyporthodus septemfasciatus</i> ^{*2}	27.9	1.44	6.4	44.5	201	22.2
<i>Phynchopelates oxyrhynchus</i> ^{*2}	37.7	4.19	13.2	30.2	90	35.9
<i>Micropterus salmoides</i> ^{*2}	31.1	2.50	6.8	28.8	126	21.4
<i>Sillago japonica</i> ^{*2}	17.5	1.59	3.6	22.6	110	20.6
<i>Seriola dumerili</i> ^{*2}	39.1	2.84	10.3	36.7	139	26.6
<i>Seriola quinqueradiata</i> ^{*2}	42.9	3.03	10.1	33.2	143	23.4
<i>Trachurus japonicus</i> ^{*2}	34.4	2.16	8.9	41.5	159	26.2
<i>Parapristipoma trilineatum</i> ^{*2}	31.2	2.30	9.0	38.7	135	28.8
<i>Plectorhynchus cinctus</i> ^{*2}	35.0	2.99	10.0	33.7	119	28.4
<i>Acanthopagrus schlegeli schlegelii</i> ^{*2}	26.2	2.47	6.3	25.6	107	23.9
<i>Evynnis japonica</i> ^{*2}	40.7	2.31	8.8	40.1	181	21.8
<i>Pagrus major</i> ^{*2}	29.2	1.81	6.0	33.4	167	20.2
<i>Girella punctata</i> ^{*2}	29.8	2.20	7.9	36.6	139	26.6
<i>Kyphosus vaigiensis</i> ^{*2}	41.4	2.97	11.1	37.6	140	27.0
<i>Oplegnathus fasciatus</i> ^{*2}	32.6	2.14	8.9	42.1	154	27.4
<i>Oplegnathus punctatus</i> ^{*2}	31.8	3.22	7.7	24.1	100	24.0
<i>Cichlidae sp.</i> ^{*2}	23.1	1.42	6.6	46.5	165	28.6
<i>Mugil cephalus</i> ^{*2}	39.0	3.83	9.1	23.7	101	23.4
<i>Sphyraena pinguis</i> ^{*2}	43.5	4.36	10.4	23.4	100	23.2
<i>Halichoeres poecilopterus</i> ^{*2}	23.0	1.81	5.7	33.0	131	24.9
<i>Pseudolabrus japonicus</i> ^{*2}	33.1	3.45	6.1	18.0	97	18.7
<i>Acanthogobius flavimanus</i> ^{*2}	22.4	1.40	2.5	17.0	159	10.5
<i>Chaenogobius annularis</i> ^{*2}	17.8	0.57	2.8	48.7	316	15.5
<i>Odontobutis obscura</i> ^{*2}	23.6	1.26	5.0	39.9	188	21.2
<i>Trichiurus lepturus</i> ^{*2}	48.1	2.16	9.8	48.1	215	20.8
<i>Auwix rochei</i> ^{*2}	62.2	4.87	18.1	38.3	133	29.0
<i>Scomber japonicus</i> ^{*2}	63.0	5.07	14.8	31.4	120	21.2
<i>Scomberomorus niphonius</i> ^{*2}	39.9	3.54	9.5	26.8	113	23.7
<i>Channa argus</i> ^{*2}	47.7	3.39	13.7	40.6	140	29.2
<i>Hypophthalmichthys nobilis</i> ^{*3}	23.3	1.23	6.1	50.3	196	26.2
<i>Carassius auratus</i> ^{*3}	33.0	1.85	8.4	45.8	179	25.5
<i>Carassius auratus auratus</i> ^{*3}	33.4	1.65	8.4	50.7	203	24.1
<i>Ctenopharyngodon idella</i> ^{*3}	29.4	2.23	8.7	39.3	135	29.5
<i>Cyprinus carpio carpio</i> ^{*3}	28.9	1.34	7.0	52.4	218	24.0
<i>Hemibarbus labeo</i> ^{*3}	34.1	2.06	6.0	31.2	183	17.2
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> ^{*3}	27.2	1.36	10.4	78.1	194	40.6
<i>Mylopharyngodon piceus</i> ^{*3}	31.9	1.76	7.7	48.3	183	23.9
<i>Tinca tinca</i> ^{*3}	30.7	1.62	6.3	58.0	236	20.1
<i>Tribolodon hakonensis</i> ^{*3}	43.1	1.73	9.1	56.2	255	22.4
<i>Zacco platypus</i> ^{*3}	33.4	2.10	6.4	34.3	167	19.6
<i>Zacco temminckii</i> ^{*3}	35.5	2.05	9.5	46.7	174	27.0
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> ^{*3}	39.8	1.70	10.6	57.8	222	27.5
<i>Ictalurus punctatus</i> ^{*3}	26.7	2.18	6.9	31.9	124	25.9
<i>Tachysurus nudiceps</i> ^{*3}	19.1	1.34	6.7	49.7	145	34.6
<i>Silurus asotus</i> ^{*3}	35.1	1.81	11.4	64.2	194	33.1

*1 Presumed from Itazawa (1991)¹⁵.

*2 Presumed from Kadono et.al. (1994)¹⁶.

*3 Presumed from Kadono et.al. (1996)¹⁷.

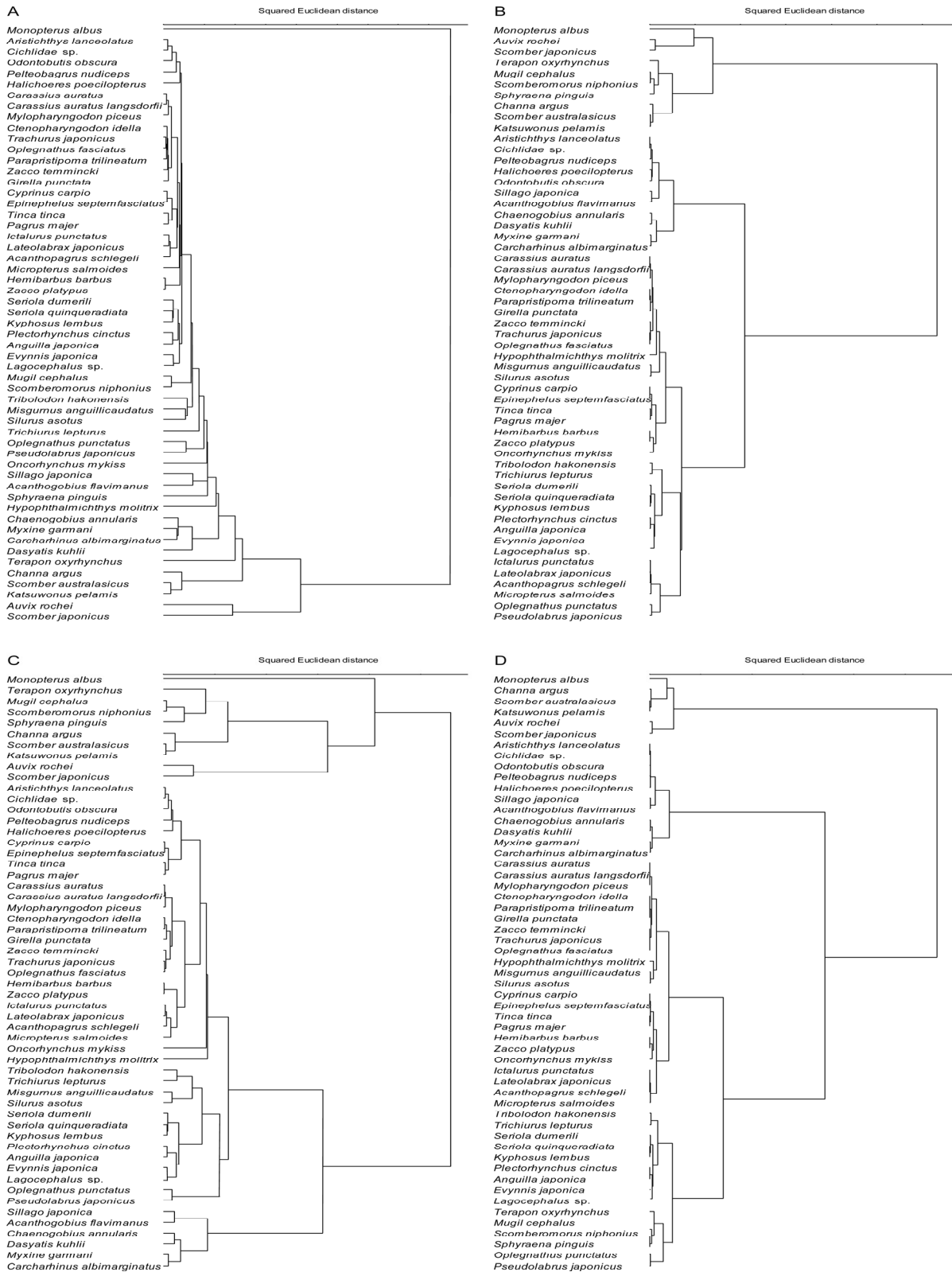


Fig. 2. Tree diagrams from cluster analysis based on squared Euclidean distance. A : Nearest neighbor method, B : Furthest neighbor method, C : Group average method, D : Ward's method.

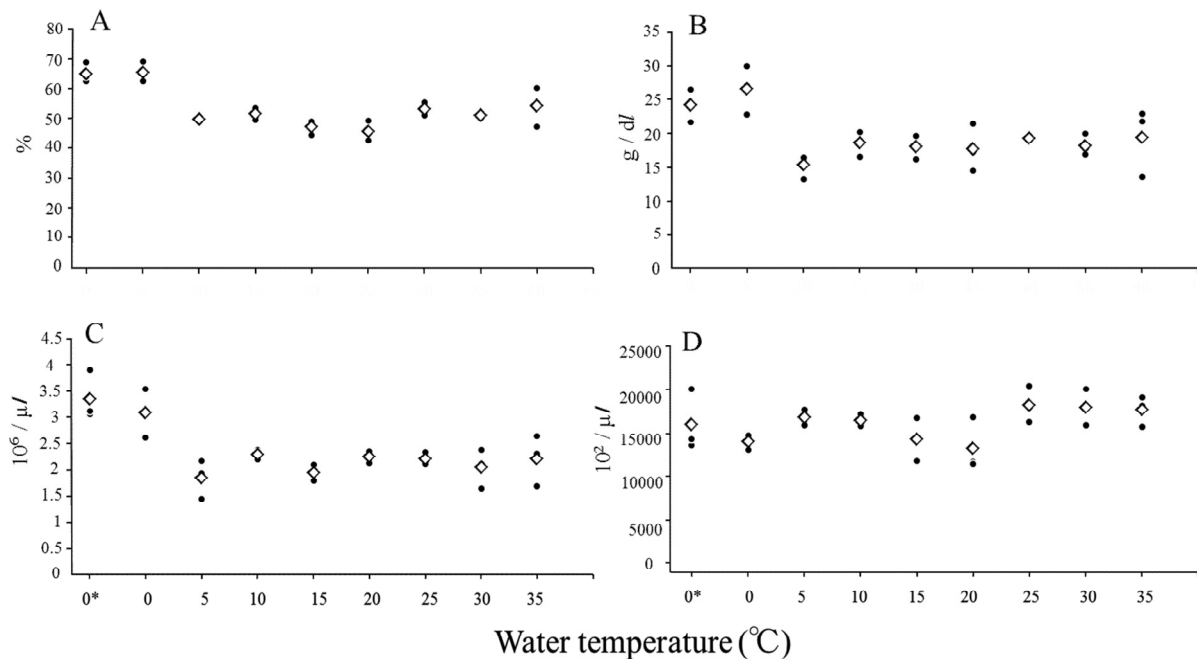


Fig. 3. Changes of the blood properties on the *Monopterus albus* in each temperature. A: Hematocrit Value, B: Hemoglobin Volume, C: Red Blood Cell, D: White Blood Cell. ●: actual value, ◇: mean value. Values of Ht, Hb and RBC, WBC were assayed by 27 specimens. *: seven days after.

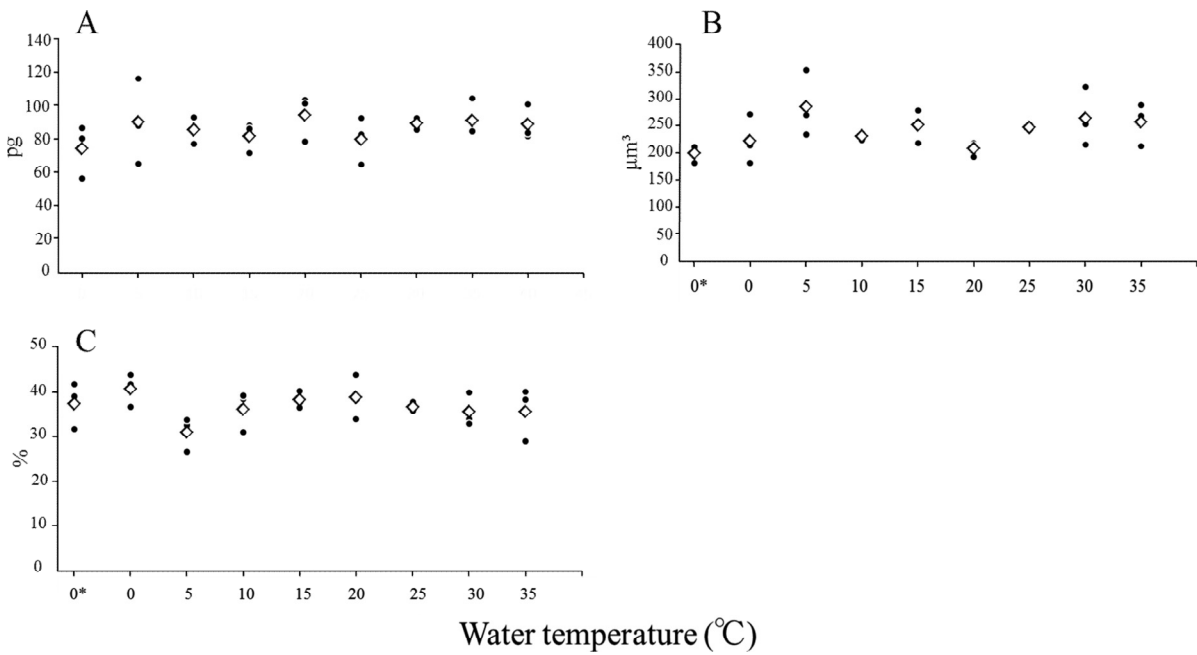


Fig. 4. Changes of the blood properties on the *Monopterus albus* in each temperature. A: Mean Corpuscular Hemoglobin, B: Mean Corpuscular Volume, C: Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration. ●: actual value, ◇: mean value. Values of MCH, MCV and MCHC were assayed by 27 specimens. *: seven days after.

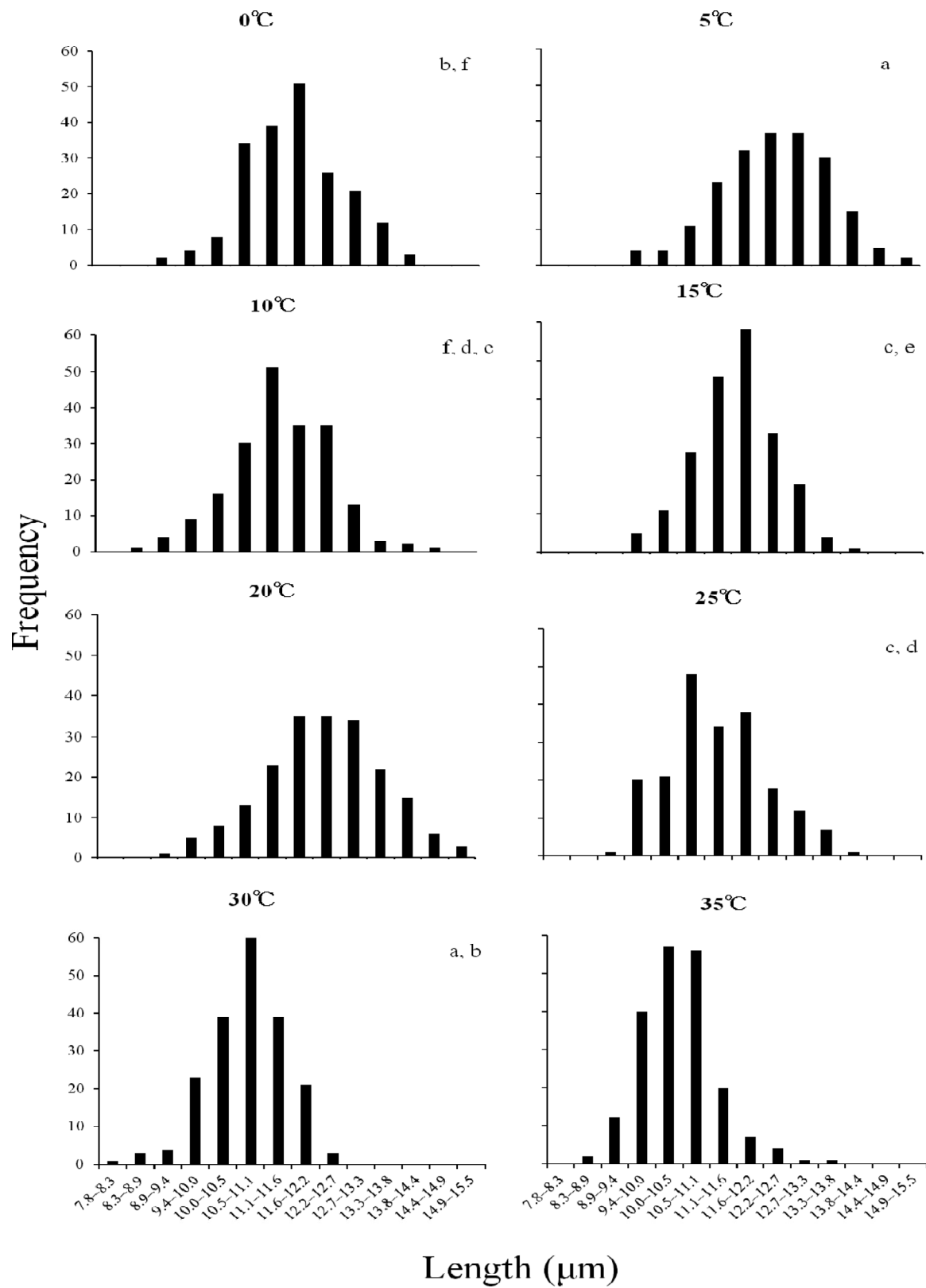


Fig. 5. Major axis of Erythrocyte frequency distribution on the *Monopterus albus*. No significant differences among groups are indicated by different alphabetical letters (Steel-dwass test, $P > 0.01$).

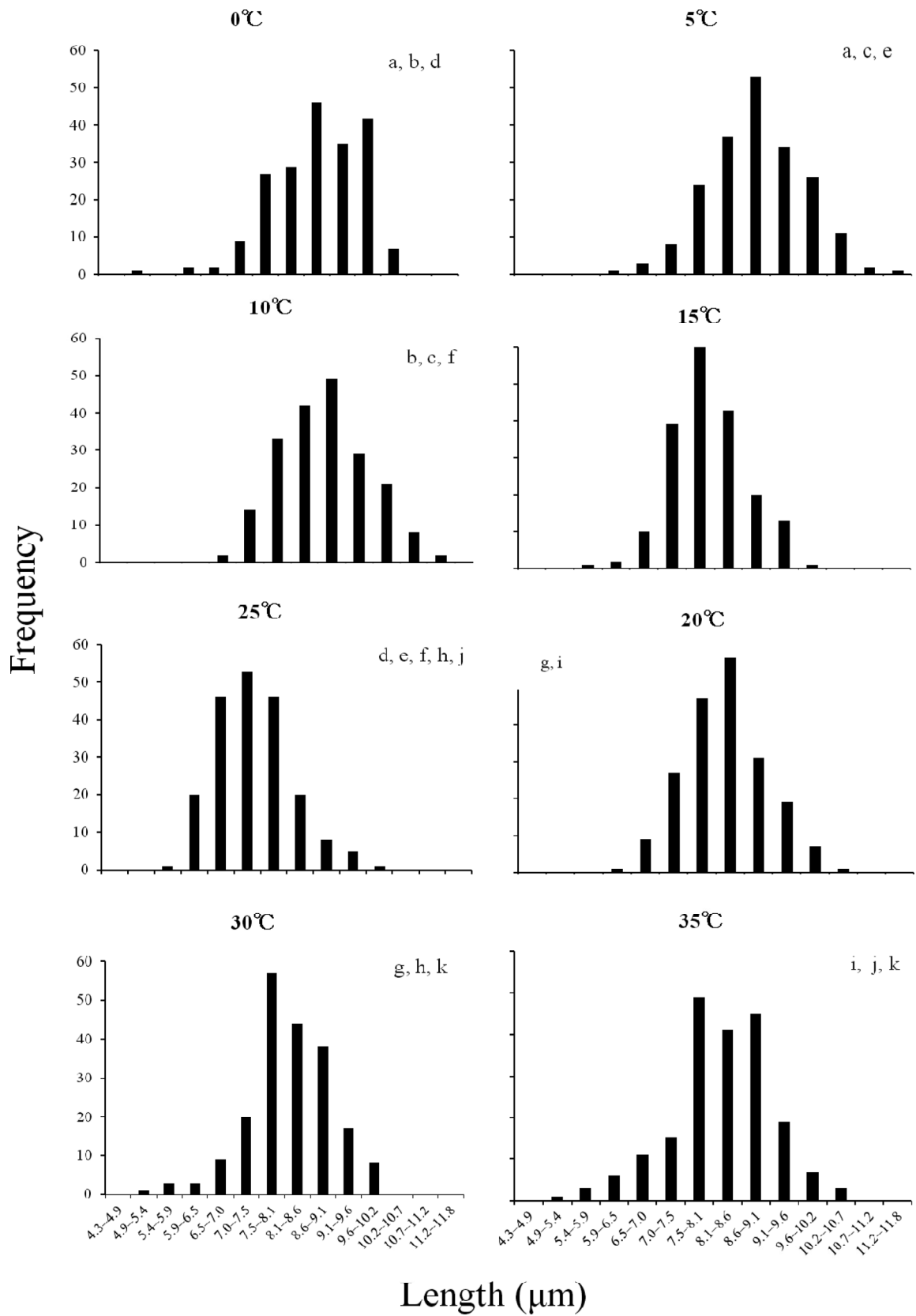


Fig. 6. Minor axis of Erythrocyte frequency distribution on the *Monopterus albus*. No significant differences are indicated by different alphabetical letters (Steel-dwass test, $P > 0.01$).