

輸送時のマダイの血液性状、成分の変動*

石 岡 宏 子

Stress Responses to Transportation in the Red Sea Bream, *Pagrus major*
(TEMMINCK *et* SCHLEGEL)

Hiroko ISHIOKA

Red sea breams, *Pagrus major* (TEMMINCK *et* SCHLEGEL), were transported experimentally by ship in living wells (1×1×1 m) with sea water flowing and by the container on the truck, which were made of thick polyvinyl baggage. The container contained 20 l of sea water and was closed tightly after blowing pure oxygen gas for 30 seconds.

Some blood parameters of the fish were measured before, during and after transportation.

Transportation immediately after loading into the living well of the ship caused hyperglycemia of the fish after 2 hour-transportation and some individuals showed high haematocrit value and high serum sodium level, though loading 24 hours before transportation did not produce any signs of stress responses.

Transportation in the container also caused remarkable hyperglycemia even when the fish were loaded one day before. Serum sodium levels were comparatively constant and haematocrit values were lower than controls. It was considered that these changes depended on severe confinement and high dissolved oxygen tensions in closed transporting systems.

マダイは周年にわたり日本沿岸で捕獲され、刺身材料としての需要も多く、活魚の商品価値はきわめて高い。さらに近年はマダイ資源培養を目的とした種苗放流も盛んに行なわれるようになった。これらの情勢はマダイの活魚輸送の重要性を増し、ひいてはその研究の必要性を増大させている。

輸送時の魚の生理学的性状の変化に関しては古くから興味を持たれ、生理学的観点からのみならず実用的観点からの研究も多い。特に魚の呼吸と排泄の生理学は活魚輸送の基本であるところから重点的に研究されてきた。しかしその基となる物質代謝面からの研究は局部的には深められているが必ずしも十分ではない。

ここでは、輸送時のマダイの血液性状にあらわれる変化をストレス反応の観点からみるために、

輸送にともなうマダイの血液のヘマトクリット値, グルコース量, 血清ナトリウム量の変動を問題にした。

材 料 と 方 法

供試マダイは原則として広島県内で種苗生産された養殖魚を実験1カ月前に購入し, 1トンのコンクリート水槽で生鮮生ガキを餌料として飼育していたものを用いた。実験の24時間前から餌料投与を中止した。輸送条件および供試魚の概要を Table 1 に示した。

Table 1. The experimental conditions during transportations.

No. of experiment	Date	No. of fish	Fish size (Mean \pm S. D.)		Experimental conditions
			Length (cm)	Weight (g)	
Live well transportation by the ship					
I	'76, May 17	20	12.8 \pm 1.18	74.4 \pm 19.00	The fish was transported for 2 hrs soon after being transferred from the stock nets to the living well with influent sea water.
II	'76, Jul. 22	10	15.2 \pm 1.06	122.5 \pm 27.91	The same as above but the fish was transported for 1 hr. soon after being transferred.
III	'77, May 30	20	11.6 \pm 0.64	51.6 \pm 7.46	The same as above but the fish was allowed to recover in the living well for a day before transportation.
Container transportation by the truck					
IV	'81, Jun. 11	15	11.1 \pm 0.80	30.7 \pm 6.78	Five fish were confined in each polyvinyl bag (20 l sea water) with the oxygen gas filled and transported at once.
V	'81, Jun. 12	20	11.5 \pm 0.80	32.7 \pm 7.54	The same as above but the fish was allowed to recover in the bag for a day before transportation.

Water temperature 20.5-21.5°C

実験 I から実験 III までは, 活魚倉 (1 \times 1 \times 1 m) を持った小型船 "せと" による輸送実験であり, 活魚倉の一部は開口しており, 海水交換を行ないながらの輸送である。船の速度は 18.5 km/h 程度であった。

実験 I は広島県音戸町の広島県水産試験場の網生簀より, 同所で種苗生産されたマダイを手網で取り上げ, 船に收容し, 2時間かけて水産研究所まで輸送した。

実験 II は広島県沖美町で種苗生産され飼育されていたマダイを取り上げ, 1時間輸送した。

実験 III は輸送に入る前段階での取り扱いの影響が大きいと考えられたので, 輸送24時間前に活

輸送時のマダイの血液性状変化

魚倉へ収容し放置した後、輸送実験を行い、経時的にマダイを取り上げ採血を行なった。

実験Ⅳ, Ⅴは、コンテナによる陸上輸送実験である。二重大型ビニール袋に口過海水20ℓを入れ、これに5尾宛マダイを収容し、直後に酸素ガス(99%)を30秒間吹き込んで密閉し、ダンボール箱に入れトラックに積み込んで輸送した。酸素吹き込み直後のウインクラー法による溶存酸素量は14.3ml/ℓでありこの間の水温は20.5~21.5℃であった。

この際次の2つの取り扱い法を用いた。実験Ⅳは保存水槽から取り上げて直ちにコンテナに移し輸送を行なった。実験Ⅴは取り扱いの影響を除くために、輸送の24時間前にマダイを輸送コンテナに収容し、その容器内でエアレーションを行なった。

コンテナ輸送中の溶存酸素量は酸素吹き込み直後よりやや多く、1時間輸送以後全実験期間を通じて $16.1 \pm 1.60 \text{ ml/ℓ}$ ($n=12$)であった。

輸送直前コンテナに酸素を吹き込む前に5尾より採血しこれを対照区とした。

輸送中、および輸送後の適当な時期に5尾ずつ収容のコンテナを1個ごと開封しマダイのキュービエ氏管より採血し、これらよりヘマトクリット値、血清グルコース量、血清ナトリウム量の分析を行なった。ヘマトクリット値はマイクロヘマトクリット法により、血清グルコースは酵素法により、血清ナトリウムは原子吸光分析により測定した。

結 果

ヘマトクリット値の推移を Fig. 1 に示した。全体的に個体差が大きい、船舶輸送とコンテナ

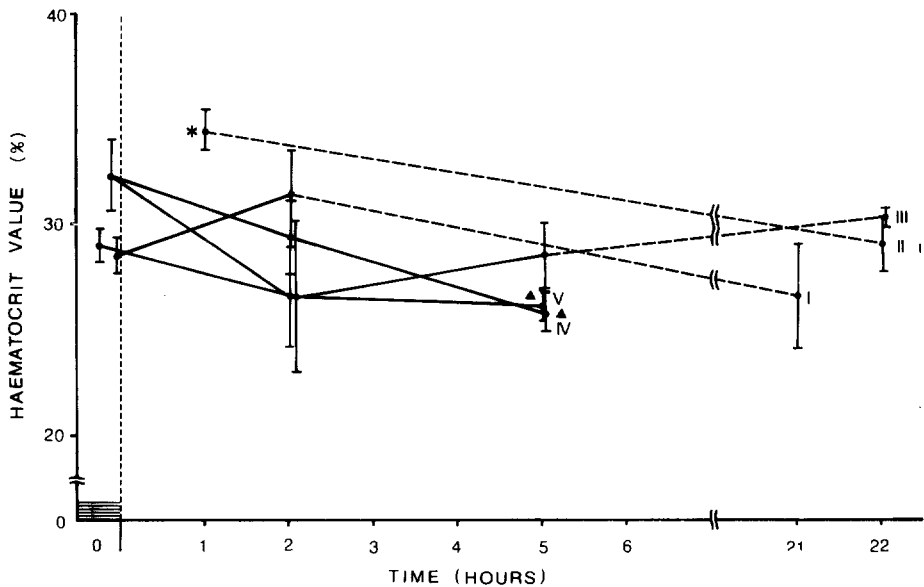


Fig. 1 Haematocrit values of the red sea bream during and after transportation ($n=5$, Mean \pm S. E.)

Solid line: during transportation, Dotted line: after transportation

*, ▲: significantly different from controls. ($p \leq 0.05$)

Numerals of I, II, III, IV, V are the same as those in Table 1.

輸送では様相が異なっている。船活魚倉輸送の場合、実験Ⅰ、Ⅱでは、1時間、2時間の輸送直後の値は、コントロール値や回復後の値に比べて高い傾向が認められるが、実験Ⅲのように輸送直前の“取り扱い”の影響を避けた実験では、ほとんど変化が認められなかった。コンテナ輸送の場合には輸送終了時には有意に低いヘマトクリット値が得られた。

血清グルコース量の変化をFig. 2に示した。この値は大きく変化するが、輸送方法によって変化の様相や変化の程度が異なる。活魚倉輸送Ⅰ、Ⅱでは輸送終了直後のグルコース値は極めて大きいのが、実験Ⅲではわずかに上昇の傾向は認められたものの有意差は生じなかった。コンテナ輸送では、実験Ⅳ、Ⅴ共に同程度のグルコース増加が認められ、有意に高い値を示した。

血清ナトリウム量は対照区の値をみても (Fig. 3) 実験の時期や年度によって値が大きく異な

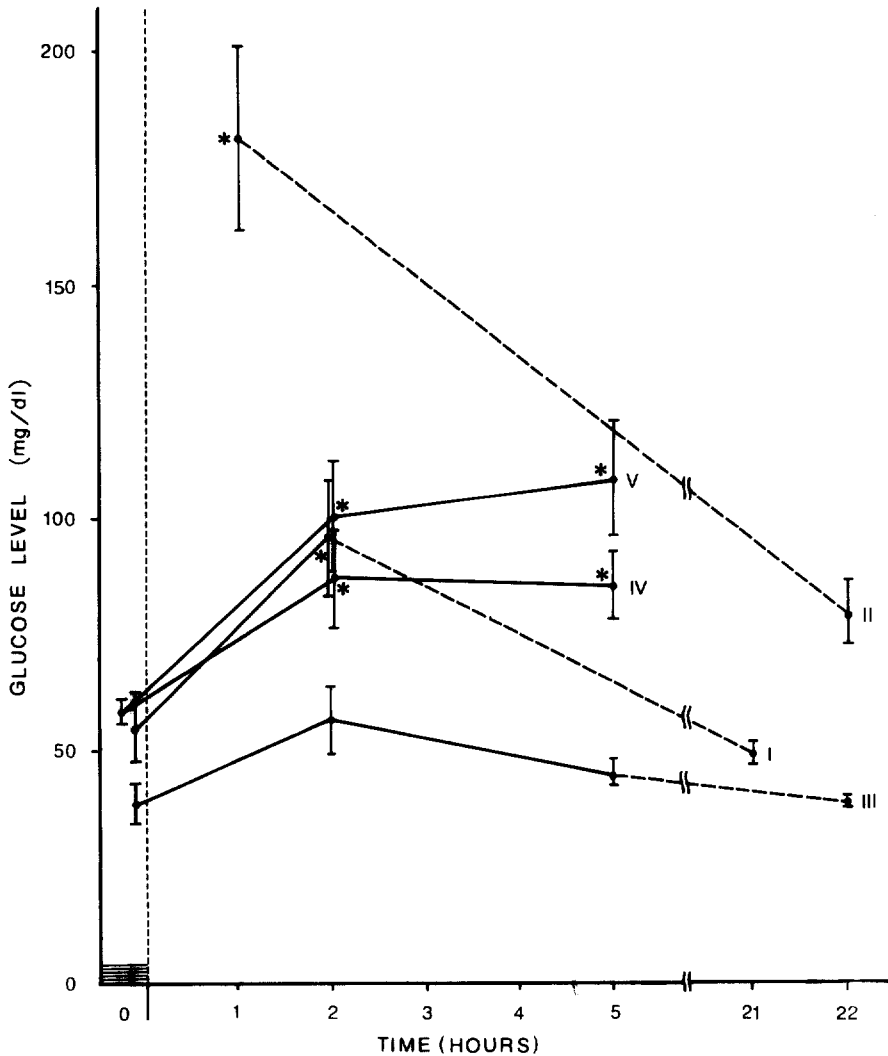


Fig. 2. Serum glucose level of the red sea bream during and after transportation. Numerals, lines and symbols are same in Fig. 1. (n=5, Mean±S. E.)

輸送時のマダイの血液性状変化

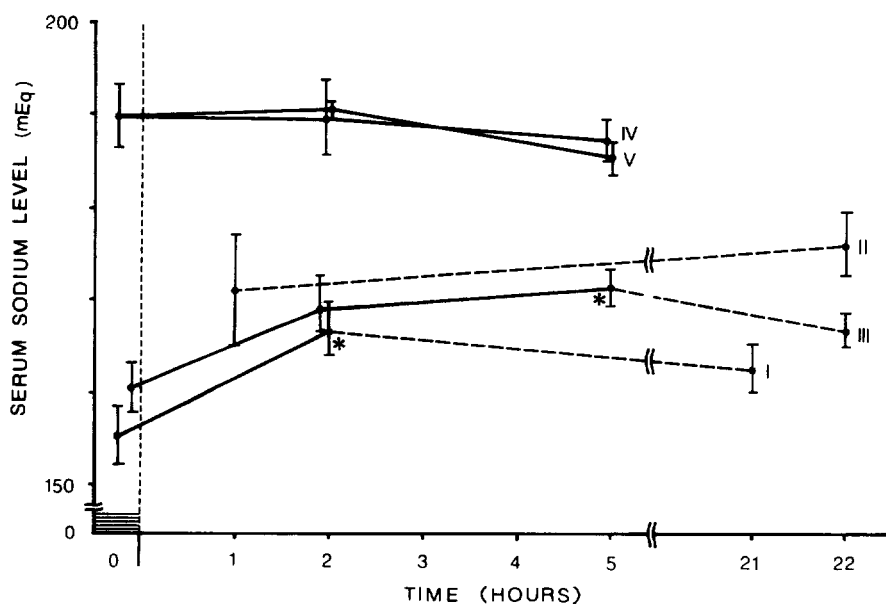


Fig. 3 Serum sodium level of the red sea bream during and after transportation (n=5, Mean \pm S. E.) Numerals, lines and symbols are same in Fig. 1.

っている。活魚倉輸送の場合には、実験 I, III でいづれも、ゆっくりとした増加の傾向が認められたが、実験 II の 1 時間輸送直後には 22 時間後の値と比べて、増加傾向はみられなかった。トラック輸送の実験では、いずれも高い血清ナトリウム量を示すが増加あるいは減少の傾向は認められなかった。

考 察

輸送される魚はその過程で、ネットによる移しかえ、強制運動、強制収容、環境要因変化（温度、酸素量等）振動、高密度収容、水質悪化等のストレッサーに、複合的かつ連続的に曝露されることになる。これら個々のストレッサーに対する魚の反応は生理学的観点から研究されてきており、他方、これらの複合された輸送そのものが魚に与える影響については、実用的な必要性から古くから研究されている。その内容は大きく分けると、輸送方法の技術的問題を中心課題としたものと、輸送が魚類の生理におよぼす影響を中心としたものの二つに分けられる。後者についてはストレス反応の概念を根底に含んでいるものも多い。

輸送が魚の生理に与える影響としては、輸送中の魚の酸素消費量が多く測定された（林, 1977）。この時魚の血液酸素結合能等も測定され、板沢（1982）は水無し輸送、タンク輸送、プラスチック袋輸送時の酸素収支をまとめ、水中の炭酸ガス、pH、アンモニア、懸濁物、温度、魚の興奮等が、輸送中の魚の酸素収支に影響を与えるとした。

諸岡（1967）によるとマダイ活魚輸送の実際では、水温 15~20°C で酸素消費量 120 ml O₂/kg. hr.

を概算の基礎とすればよいとしている。田中 (1965) も小ダイで、これに近い値を示し、輸送前の“取り扱い”の影響が数時間残ると報告した。

興奮や“取り扱い”に関する魚のストレス反応の報告は石岡 (1983) が述べたように最近多くなっているが、輸送時の反応もこの観点からの研究がみられるようになった。

輸送時の内分泌系反応としては血中コーチゾール量が定量されている。SPECKER AND SCHRECK (1980) はギンザケ (*Oncorhynchus kisutch*) 稚魚を200 lのプラスチック容器に入れ陸上輸送し、収容密度の大小、海水、淡水の種類等にかかわらず、輸送直後には極めて高い値を得ている。また、BARTON *et al.* (1980) はニジマス稚魚で捕獲からトラック輸送を経て再収容までの血漿コーチゾール量の変動をみており、輸送の影響は数日間残るとしている。さらに、この傾向は通気方法の変更や食塩添加、麻酔、低温輸送等輸送条件を変えても変わらず現在の技術水準ではストレス反応を阻止することはできないと結論づけた。

内分泌系反応以外で最も顕著な変化は今回の実験で明らかにされたように血糖値の上昇である。しかし、輸送中に血糖を測定した例は少なく、また、今回の実験にもみられるようにその結果のばらつきも大きい。TANDON AND JOSHI (1973) はナマズ (*Heteropneustes fossilis*) を河から取り上げ水槽に入れ、実験室まで運ぶ過程を経た後の魚の血糖値の変化を追跡して一過性の著しい増加を報告している。FLETCHER (1974) はヒラメ類 (*Pseudopleuronectes americanus*) を野外で捕獲し、研究室まで輸送した時の血液成分を調べ、血中グルコース量が増加したとしている。

PASANEN *et al.* (1979) も *Coregonus albula* (L.) で捕獲、輸送、標識付け等の後の血中グルコース量と血中乳酸量を測定し、数時間を経ても非常に高い値が継続することを報告している。ALDRIN, MESSENGER *et MEVEL* (1979) はギンザケを輸送した時、血漿グルコースでは平均値で有意差は生じなかったが、輸送後数時間は高い値がみられるとしている。

今回の実験で、船舶による輸送では、“取り扱い”の影響を除いた時には、グルコース量の変化が大きくない事実と、コンテナ輸送時の高い容積酸素分圧と狭い容器への収容の場合には、事前の“取り扱い”条件の有無にかかわらずグルコース量が高かったという事実は、輸送時の“取り扱い”、環境条件変化の在り方が、血糖値を大きく左右する原因であることを示している。

輸送中の魚の乳酸生成については、輸送技術によって制約される酸素量と魚の嫌氣的代謝の関係の観点から注目され、比較的古くから研究が進められた。HAYASHI *et al.* (1964) はニジマスについて輸送中、および後の血液、筋肉中の乳酸量は輸送開始後数分で増加するが、時間経過と共に減少する傾向を示し、この乳酸生成は絶食魚で少なかったとしている。前述の TANDON *et al.* (1973) はナマズの場合、輸送後数時間して最大に達する血中乳酸量の増加があると報告し、PASANEN *et al.* (1979) は季節によってその程度は異なるが、乳酸量の一時的増加を報告している。これら血中乳酸量の増加は筋肉中に生成された乳酸に由来すると考えられ、HAYASHI *et al.* (1964)、井上・古市 (1979) によるとニジマスやマダイでは、輸送中の筋肉中乳酸含量は血中乳酸量に比べて高い値を示す。最近、WARDLE (1978) は筋肉組織からの乳酸の血中への放出がアドレナリンによって制御されると報告している。これは取り扱いや輸送時に遅れて起る血中乳酸量の増加現象をうまく説明しているように思える。

輸送時のマダイの血液性状変化

輸送による浸透圧変化や血中無機塩量の変動についての報告もいくつかみられる。HATTINGH AND PLETZEN (1974) はナマズ (*Labeo umbratus*) を空気の吹き込みと酸素95%炭酸ガス5%の混合ガスの吹き込みを行ないながらタンクで輸送した結果1, 2日後の血液性状はその後2週間以上経過した血液性状と比べて浸透圧が低いと述べている。FLETCHER (1974) はヒラメ類で捕獲と輸送後に血漿浸透圧, 血漿ナトリウム量, 血漿クロライド量, 血漿カリウム量は増加している。ALDRIN *et al.* (1979) はギンザケで血中ナトリウム量は輸送により増加し, 塩素量とカリウム量は減少したと報告している。今回のマダイによる実験では船舶輸送の場合に血清ナトリウムの一部増加が認められた場合があるが, コンテナ輸送時には特に大きな変化は認められなかった。この実験結果や諸報告から判断する限りでは血中無機塩の変動様式は必ずしも一致しない。

ヘマトクリット値等の血液性状については, ALDRIN *et al.* (1979) はギンザケで, FLETCHER (1974) はヒラメ類で, 輸送後数時間のヘマトクリット値は極めて大きいとしている。一方, HATTINGH AND PLETZEN (1974) は輸送後1~2日にはヘマトクリット値の低下を報告しており意見は一致していない。これについては対照との比較基準や経過時間の相違を考慮する必要がある, 詳細な経時的変化の追跡が今後の課題であろう。今回の実験結果でも, 明瞭な一定の傾向は認め難かった。活魚倉輸送実験Ⅱでは輸送直後に有意に高い値を認めたが, 実験Ⅲの“取り扱い”を除いた条件では有意差を得ていないことを考えあわせると, この値の増加は“取り扱い”の影響が大きいと考えた方が妥当であろう。実験ⅣとⅤのコンテナ輸送の場合には5時間輸送後にヘマトクリット値の有意な低下を得ているが, 時間経過と値から考えると, これは過飽和な酸素濃度の影響と考えざるを得ない。

ヘモグロビン量に関しては, ヘマトクリット値同様, 増加を示す報告 (ALDRIN *et al.* 1979) もみられるが, HAYASHI *et al.* (1964), HATTINGH AND PLETZEN (1974) の報告とは一致しない。

環境要因変化, 麻酔, 取り扱い等にみられる魚のストレス反応が, 輸送という複合的ストレスに暴される条件下でも同様に起るか否かを検討し, ヘマトクリット値, 血清グルコース量, 血清ナトリウム量に変化が認められる場合のあることが今回の実験で確認された。しかしすべての実験の場合にかかわらずも同一の変動様式を見出すに至らなかったことは他の諸報告と同様な大きな特徴の一つである。すなわち反応の大きさ, 反応が最大に達する時間帯等が実験ごとに異なっている。これは魚種の相違もさることながら, 与える実験条件を, ストレッサーとして考えた時に, それぞれの強度と作用時間が異なることに由来すると考えざるをえない。すなわち, 捕獲の方法, 取り扱い, 収容密度, 収容水の状態, 輸送条件, 魚の慣れ等が個々の場合で異なるため, 均一で一律な反応としては把握しにくいものと考えられる。ただし, 今回の活魚倉輸送実験結果や, 諸報告の反応時間と反応の大きさから, 捕獲や輸送前の“取り扱い”の影響が極めて大きいことは予想される。活魚倉輸送とコンテナ輸送ではストレッサーの種類や強度が異なることは当然であるが, どちらの場合も直前の“取り扱い”ストレスを避けることはできない。しかしその後の水質も含めた環境要因変化ストレスの在り方は大きく異なり, この点では密閉系のコンテナ輸送よりも船の活魚倉輸送の方が危険が少ないと考えられる。

海産魚成魚の輸送の多くは活魚倉のある船が用いられているが、近年放流等で使われる卵や稚仔魚を含めて成魚についてもコンテナ輸送が増えつつある（橋本1982, 武田ら1972, 村井ら1982）。それは短時間での遠距離輸送を可能にした輸送手段の発達を利用して、長時間輸送後の斃死率増大等の悪影響（BOGDAN AND WALUGA 1980）を避けるためである。BARTON *et al.* (1980) が述べているように、生理学的負荷軽減の絶対的条件を探することは困難であるとしても、“取り扱い”の工夫や輸送条件を細かく検討することによって、疲弊にまで至らない範囲で輸送を完了することは可能であろう。新しい輸送方法に対応した新たな技術、考え方が期待される。

摘 要

マダイ輸送時にどの程度のストレス反応が起っているかを知るために、船舶活魚倉輸送と、トラックコンテナ輸送を行なった。船舶輸送の場合には、 $1 \times 1 \times 1$ mの生簀に魚を収容し18.5 km/hで運行し、海水は船底からの流入流出にまかせた状態で行ない、コンテナ輸送の場合には、大型厚手ビニール袋に20ℓの海水を入れ、これに酸素ガスを30秒間吹き込み、その後密閉し段ボール箱に収容しトラックに積み込み輸送した。輸送中、輸送後の適当な時間に魚を取り上げ、キューピエ氏管より採血し、ヘマトクリット値を測定し、分離した血清についてグルコースとナトリウム量をそれぞれ酵素法、原子吸光分析により測定した。

船舶輸送の場合に、輸送直前に魚を収容した場合には顕著な血糖値増加が認められ、また、ヘマトクリット値、血清ナトリウム量増加が認められる場合もあった。しかし、24時間前に魚を収容しておくとも顕著な血糖値上昇は認められなかった。このことは、“取り扱い”の影響が極めて大きいことを意味している。

コンテナ輸送の場合には、収容時間の如何を問わず、顕著な血糖値増加が認められ、ヘマトクリット値は高溶存酸素の影響による低下が認められた。

魚の輸送時に、ストレス反応が起っていることは明らかである。その反応の起り方は実験毎に異なり、輸送のような複合的なストレスの影響に対する反応は必ずしも一定でないと判断された。

本研究をまとめるにあたり、御校閲と御鞭撻をいただいた東京水産大学、尾崎久雄教授、京都大学、池田静徳教授に深謝いたします。

文 献

- ALDRIN J. F., J. L. MESSENGER *et* M. MEVEL, 1979: A study of transport stress in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*, 17, 279-289.
- BARTON, B. A., R. E. PETER AND C. R. PAULENCU, 1980: Plasma cortisol levels of fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at rest, and subjected to handling, confinement, transport and stocking. *Can. J.*

輸送時のマダイの血液性状変化

- Fish. Aquat. Sci., 37, 805-811.
- BARTON, B. A. AND R. E. PETER, 1982: Plasma cortisol stress response in fingerling rainbow trout, *Salmo gairdneri* RICHARDSON, to various transport conditions, anaesthesia and cold shock. J. Fish Biol., 20, 39-51.
- BOGDAN, E. AND D. WALUGA, 1980: The effect of transport on the quality of eel stocking material. Aquaculture, 20, 139-146.
- FLETCHER, G. L., 1974: The effects of capture, "stress" and storage of whole blood on the red blood cells, plasma proteins, glucose and electrolytes of the winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*). Can. J. Zool., 53, 197-206.
- 橋本進, 1982: サケ親魚の活魚輸送時に必要な酸素放出量について, 北海道さけ, ますふ化場研究報告 (36), 71-73.
- HATTINGH, J. AND A. J. J. VAN PLETZEN, 1974: The influence of capture and transportation on some blood parameters of fresh water fish. Comp. Biochem. Physiol., 49A, 607-609.
- HAYASHI, K., N. W. GREEN AND E. C. BLACK, 1964: Carbohydrate metabolism during transportation of live rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Rep. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie, 5 (1), 51-129.
- 林孝市郎, 1977: 14, 活魚輸送, 306-317, 川本信之編, 魚類生理学 pps 605, 恒星社厚生閣, 東京.
- 井上進・古市政幸, 1979: 活魚輸送中の水ゆれ防止型水槽の試作について. Rep. Fish. Res. Lab. Kyushu Univ., (4), 79-114.
- 石岡宏子, 1983: 麻酔および取り扱いストレス時の血液性状変化. 南西海区水産研究所研究報告, (16), 53-62.
- 板沢靖男, 1982: I 輸送中の生理 1. 呼吸, 9-21. 水産学シリーズ39 活魚輸送, 137 pps. 恒星社厚生閣, 東京.
- 諸岡等, 1967: 活魚輸送に関する研究. 長崎県水産試験場論文集, No. 3, 1-53.
- 村井衛・青木雄二・西村和久, 1982: マダイ受精卵の46時間輸送結果について. 水産増殖, 30; 43-47.
- PASANEN, S., M. V. VILJANEN AND E. PULKKINEN, 1979: Stress caused by the "mark-recapture" method to *Coregonus albula* (L). J. Fish Biol., 14, 597-605.
- SPECKER, J. L. AND C. B. SCHRECK, 1980: Stress responses to transportation and fitness for marine survival in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) smolts. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37, 765-769.
- 武田年秋・鳥島嘉明・平島裕, 1972: マダイの受精卵およびふ化仔魚の海上輸送について. 栽培漁業技術開発研究, 1(1), 21-23.
- 田中俊次, 1965: 海産魚の陸上活輸送を目的とする呼吸作用に関する基礎研究(予報). 京都府水産試験場業績, 第22号, 14-20.
- TANDON, R. S. AND B. D. JOSHI, 1973: Blood glucose and lactic acid levels in the fresh water fish, *Heteropneustes fossilis*, following stress. Z. Tierphysiol., Tiernahrg. u. Futtermittelkde., 31, 210-216.
- WARDLE, C. S., 1978: Non-release of lactic acid from anaerobic swimming muscle of plaice, *Pleuronectes platessa* L.: A stress reaction, J. Exp. Biol., 77, 141-155.