

주요 양식 어류의 혈액 성분 에 관한 연구

전중균 · 김병기 · 박용주 · 허형택
한국해양연구소 해양생물연구부

Study of Serum Constituents in Several Species of Cultured Fish

Joong-Kyun JEON, Pyong Kih KIM, Yong-Joo PARK
and Hyung-Tack HUH

KORDI, Div. Marine Biology, Ansan P. O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

This study was performed to obtain the basic data on the serum components of several marine fish species commonly cultured in Korea. Blood samples taken from five species of fish were analyzed for various components of serum, total protein (TP), albumin (ALB), triglyceride (TG), cholesterol (CHOL), glucose (GLC), sodium (Na); potassium (K), chloride (Cl), phosphorus (P), lipase (LIPA), alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST). The fish used were coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*), rock fish (*Sebastes schlegelii*), sea bass (*Lateolabrax japonicus*), olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) and parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*) reared at the Chungmu Experimental Fish Culture Satation of KORDI.

TP concentration of warm-water species (2.9~5.1 g/dl) was higher than that of cold-water species, and ALB concentration was ranged at the level of 1.2~1.9 g/dl. Coho salmon showed the highest ration of A/G(1.1), and the other species were about 0.5~0.6. The concentrations of TG and CHOL, components of lipids, varied with the different species. The concentration of TG was high, but CHOL concentration was low in olive flounder, while the reversed results were shown by sea bass. The sum of these two components was the highest with 600mg/dl in olive flounder, and about 400mg/dl for sea bass and rock fish, and 300mg/dl for parrot fish and coho salmon. Concentration of GLC in coho salmon and rock fish ranged from 61 to 76mg/dl which were about four times higher than that of flounder. The highest lipase activity was observed in coho salmon, while it was nearly nil in flounder. The reversed tendency was found for TG concentration. Mineral concentrations of Na, Cl and K were 160~204 mmol/l, 137~183mmol/l and 0.5~3.1mmol/l, respectively, but no significant difference between the species was observed.

However, the concentrations of P were high in relatively active species such as coho salmon and rockfish. AST activity in all species examined was higher than that of ALT with being highest in coho salmon. The highest ALT activity was found in olive flounder.

Key words : fish, blood, serum, protein, lipid, electrolytes

서 론

육상 동물에서는 혈액 성상이나 성분의 조성 과 농도 등을 조사하여 그 동물의 영양과 병리 상태를 파악하려는 연구가 일찍부터 이루어진데 비하여, 수생 동물인 어류는 물이라는 특수한 환경 속에서 생활하

는 까닭에 관찰이나 조사에 어려움이 많아 그다지 활발하게 연구되지는 않았다. 그러나 최근 어류 양식이 성행하면서 이들의 영양 관리, 질병 관리 및 수질 변화에 따른 스트레스 해석의 차원에서 어류 혈액 성분의 농도나 효소 활성을 조사하는 연구(Harbell et al., 1979; Ikeda and Minami, 1982; Quentel and Aldrin,

본 연구는 한국해양연구소, 과학기술처 및 한국전력에서 연구비의 일부를 지원받아 수행되었습니다.

1986; Perez et al., 1988; Santulli et al., 1988; Peterson, 1990; Rand and Cone, 1990; Arnold-Reed and Balmant, 1991; Brill et al., 1992; Haney et al., 1992)가 적극적으로 이루어지고 있으며, 특히 연어과 어류를 대상으로 스몰트화(smoltification)에 따른 변화를 많이 연구하고 있다(Lin et al., 1988; Bjoernsson et al., 1989; Fargher and MaKeown, 1990; Hoffnagle and Fivizzani, 1990).

한편 우리나라에서 주로 양식하는 어종은 대부분 온수성이고, 이들을 상품 크기까지 사육하기 위해서는 어썰 수 없이 월동을 해야 하는데, 연안역의 겨울철 평균 수온이 적정 수온에 비해 매우 낮은 까닭에 온도 장애를 입는 경우가 많고, 그리하면 면역력 약화, 섭이율 저하, 성장 지연, 영양 상태 악화가 일어나기도 한다. 심한 경우에는 폐사하기도 하고, 이듬해 성장기에 성장이 온전치 못하여 경제적으로도 막대한 손실을 입힐 수가 있다. 따라서 저수온기에 어류가 어떤 영양 상태를 유지하는지를 정확히 파악하는 것이 매우 중요한 사항이라고 여겨지지만 이에 관한 자료는 매우 드문 실정이다(Melotti et al., 1989; Singh and Reddy, 1989). 혈액 성분은 같은 어종이라도 서식 환경(계절, 수온)이나 성숙 주기에 따라서 변하는 것으로 알려져 있으므로(Nakagawa et al., 1977; Siddiqui, 1977a, 1977b; Zaprudnova and Martem'yanov, 1988; Finstad et al., 1989; Ferrer et al., 1994), 본 연구는 국내에서 많이 양식하고 있는 몇 종의 해산 어류를 대상으로 혈액 성분에 관한 기초 자료를 확보하기 위한 연구의 일환으로, 겨울철 저수온기에 혈액 성분이 어떠한지를 살폈고, 이하 그 결과를 보고코자 한다.

재료 및 방법

대상 어종

본 실험에서는 한국해양연구소 충무 현장의 해상 가두리에서 생사료로 사육하던 조피볼락(*Sebastes schlegeli*, 평균 316g), 농어(*Lateolabrax japonicus*, 평균 123g), 넙치(*Paralichthys olivaceus*, 평균 212g), 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*, 평균 245g)과 함께, 비교를 위해 냉수성 어종인 은연어(*Oncorhynchus kisutch*, 평균 체중 1,024g)를 각 5~6마리씩 채혈용으로 사용하였다.

채혈과 분석

저수온기(12.7°C)인 1994년 3월말에 채혈하였다. 각 어류는 채혈하기 전날 저녁(17:00시)에 더 이상 섭이행동을 보이지 않을때 까지 생사료를 공급한 다음, 다음날 오전 09:00시에 채혈 작업을 실시하기 전까지 16~17시간 절식시켰다. 각 개체를 마취시키지 않은 상태로 가두리에서 신속하게 꺼낸 다음, 즉시 꼬리 동맥으로 부터 약 4ml씩을 주사기로 채혈하여 헤파린 처리되지 않은 원심관($\phi 12 \times 75$ mm)에 담아 상온에서 약 30분간 자연 응고시키고 나서 원심분리(3,000rpm, 20분)하여 상등액인 혈청을 얻었다. 다시 혈청을 뚜껑 달린 원심분리용 tube (250 μ l용)에 옮겨 IsoTherm-System (Eppendorf, Germany)에 담아 동결 상태를 유지하면서 연구소까지 운반하였다. 운반 후에는 즉시 혈액분석기(Ektachem DT II analyzer, Eastman Kodak Co., U.S.A.)로 총단백질(total protein, TP), 알부민(albumin, ALB), 중성지방(triglyceride, TG), 콜레스테롤(cholesterol, CHOL), 포도당(glucose, GLC), 나트륨(sodium, Na), 칼륨(potassium, K), 염소(chloride, Cl), 인(phosphorus, P), 리파제(lipase, LIPA), 아미노산 전이효소(alanine aminotransferase, ALT; aspartate aminotransferase, AST)를 분석하였으며, 이들의 분석 방법은 전보(Jeon et al., 1994)와 같다.

통계 처리

모든 측정값은 Statistical Analysis System(SAS) Procedure로 처리하였고, 어종별 각 혈액 성분 농도의 유의성 검정은 Duncan's Multiple Range Test로 95% 유의 수준에서 하였다.

결과 및 고찰

총단백질(TP)와 알부민(ALB) 함량

각종 어류의 혈액중 단백질 성분인 TP와 ALB 농도를 Fig. 1에 나타내었다. 어류의 TP 함량은 2.9~5.1g/dl의 범위였으며, 각 어종 간에는 유의적인 차이가 있었다. 즉 농어, 돌돔, 조피볼락(4.5~5.1g/dl)이 은연어(3.7)나 넙치(2.9) 보다 많아, 대체로 온수성 어종이 냉수성 어종에 비해 다소 많았다. 혈청 TP 함량은 성장(Bentinck et al., 1987), 연령(Fasaic and Palackova,

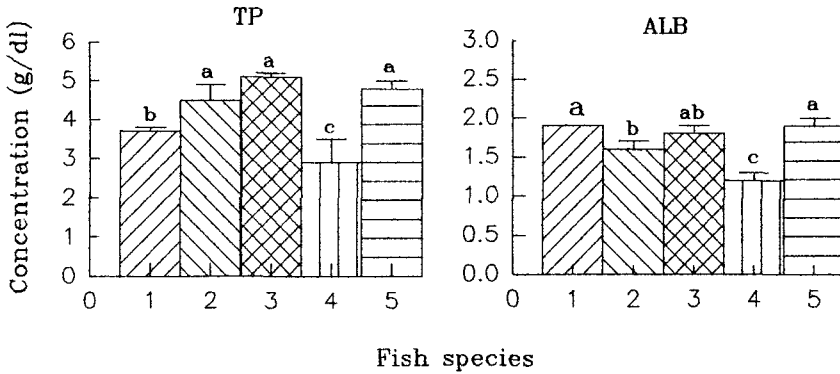


Fig. 1. Concentrations of total protein (TP) and albumin (ALB) in serum of some fish during the late winter season.

(1 : coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*; 2 : rock fish, *Sebastes schlegeli*; 3 : sea bass, *Lateolabrax japonicus*; 4 : olive flounder, *Paralichthys olivaceus*; 5 : parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*). The same letters on the bar are not significantly different ($p > 0.05$).

1990), 성별(Raizada et al., 1984), 계절적 변동(Nakagawa et al., 1977; Siddiqui, 1977a; 1977b), 질병(Harbell et al., 1979; Ikeda and Minami, 1982; Quentel and Aldrin, 1986), 운동량(Xu and Cao, 1989), 섭이 상태, 수질 환경(Weber, 1979; Yamawaki et al., 1986; Byrne et al., 1989), 스트레스(McLeay and Brown, 1979) 등에 따라서 다소 차이나는 하지만, 일반적으로 경골 어류는 4~7g/dl의 수준(Turner, 1937; Yanagisawa and Hashimoto, 1984)이라고 알려져 있으며, 본 연구 결과도 대체로 비슷한 수준이었다.

단백질 함량과 함께 그 조성도 어류 영양 상태의 지표로서 곧잘 이용하고 있다. ALB 함량(1.2~1.9g/dl)은 어종간에 비슷한 수준이었으나 유의적($p < 0.05$)인 차이를 보여 은연어, 돌돔, 농어(1.8~1.9g/dl)가 조피볼락(1.6)이나 넙치(1.2)보다 많게 나타났다. 글로부린(globulin, G)의 양은 TP 함량에서 ALB 함량을 뺀 것으로 하였을 때 알부민과 글로부린의 비(A/G ratio)를 보면 은연어는 1.1이지만 그 밖의 어종은 대개 0.5~0.6의 수준을 나타내어, 냉수성 어종인 은연어가 유의적($P < 0.05$)으로 높았다. 이처럼 은연어의 A/G비가 타 어종에 비해 높은 까닭은 다른 어종들이 자신들의 적정 서식 수온보다 낮은 수온(12.7°C) 때문에 영양 상태, 특히 ALB 함량에 영향을 받은 반면에(Ozaki, 1978), 은연어는 냉수성 어종이라 영향을 받지 않았기 때문으로 여겨진다.

중성지방(TG)과 콜레스테롤(CHOL) 함량

혈청에 들어 있는 TG, CHOL, 유리지방산(non-esterified fatty acid, NEFA)과 인지질(phospholipid, PL) 가운데 TG와 NEFA는 대부분 에너지원으로, 그리고 CHOL과 PL은 세포막 구성 성분으로 이용된다. 이 중에서 TG와 CHOL의 어종별 혈청중 농도를 Fig. 2에 나타내었다. 어종에 따라 TG와 CHOL의 혈청중 분포에는 약간의 특징이 있는 듯 하다. 즉 TG 농도는 넙치가 유의적으로 가장 높아 484 ± 54mg/dl이었고, 그 다음으로 조피볼락, 돌돔이 122~185mg/dl 수준이었으며, 은연어와 농어는 83~80mg/dl로 가장 낮았다. 이와는 반대로 CHOL 농도는 농어가 가장 높아 297 mg/dl나 되었으며, 이어서 은연어와 조피볼락이 203~226mg/dl이었고, 넙치와 돌돔은 121~149mg/dl로 가장 낮았다. 이 두가지 성분의 합도 넙치(약 600mg/dl)가 가장 많았고, 농어나 조피볼락(약 400mg/dl), 돌돔이나 은연어(약 300mg/dl)의 순으로 적었다. 한편, 혈청중 TG와 CHOL 농도는 수온, 성별, 크기, 생식 주기 등에 따라 변하며(Singh and Reddy, 1989; Garcia et al., 1990; Lal and Singh, 1987), 사료중 지질 함량(Lie et al., 1988)이나 섭이율(Shikata et al., 1993)에 따라서도 변하는 것으로 알려져 있지만 본 연구에서 나타난 어종간의 농도 차이는 동일한 생사료를 공급하였기에 사료중 지질 함량이나 섭이율에 따른 것이기 보다는 수온에 의한 것으로 여겨진다.

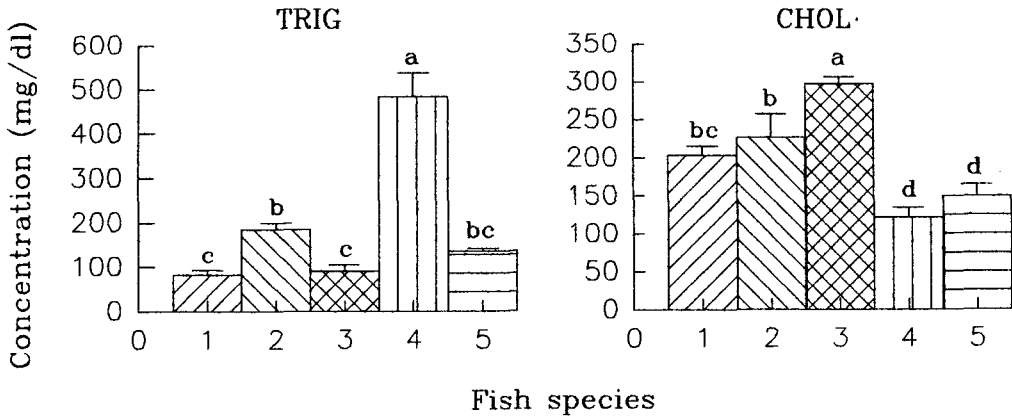


Fig. 2. Concentrations of triglyceride (TG) and cholesterol (CHOL) in serum of some fish during the late winter season. (1~5 of fish species refer to Fig. 1).

포도당(GLC) 함량

어종별 혈당(GLC)의 농도를 Fig. 3에 나타내었다. 어종별 GLC 농도는 은연어, 조피볼락, 농어(61~76 mg/dl)가 돌돔(58mg/dl)이나 넙치(18mg/dl)보다 높아, 서식 수온이 낮은 종일수록 많은 경향을 보였다. 그리고 GLC의 어종별 분포는 TG의 분포와 대조적인 경향을 보이고 있어 어종에 따라 에너지원으로 사용하는 기질이 다를 것으로 여겨진다.

리파제(LIPA) 활성

LIPA의 어종별 활성은 Fig. 4와 같다. 어종간에는 심한 차이를 보여, 은연어(339 ± 20U/dl)가 가장 높았고, 다음은 돌돔(171 ± 31U/dl), 조피볼락(84 ± 16U/

dl), 농어(39 ± 4U/dl)의 순이었으며, 넙치에서는 거의 활성이 나타나지 않았다. 이들의 활성은 TG의 혈액중 농도와 반대되는 경향을 보여, TG농도가 가장 높았던 넙치는 LIPA의 활성이 가장 낮았고, 반대로 TG 농도가 가장 낮았던 은연어는 LIPA 활성이 가장 강하며, TG와 LIPA의 상호 관계가 뚜렷하게 나타났다.

무기질 함량

무기질의 어종별 분포는 Fig. 5와 같다. Na와 Cl 농도는 각각 160~204mmol/l, 137~183mmol/l의 수준이었으며, 조피볼락, 넙치와 돌돔(180~204mmol/l, 179~183mmol/l)이 은연어나 농어(160~69mmol/l, 137~142mmol/l)보다 유의적(p<0.05)으로 많았다. 이들 값은 경골 어류중의 150~200mmol/l과 150~180

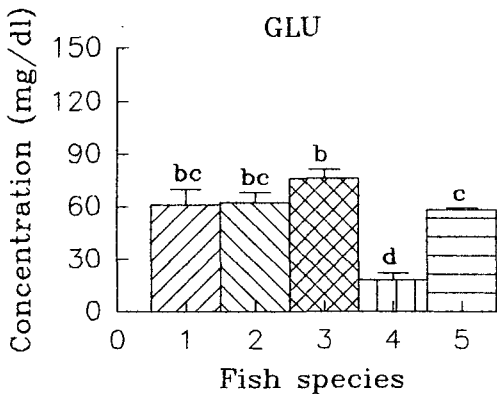


Fig. 3. Concentrations of glucose (GLC) in serum of some fish during the late winter season. (1~5 of fish species refer to Fig. 1).

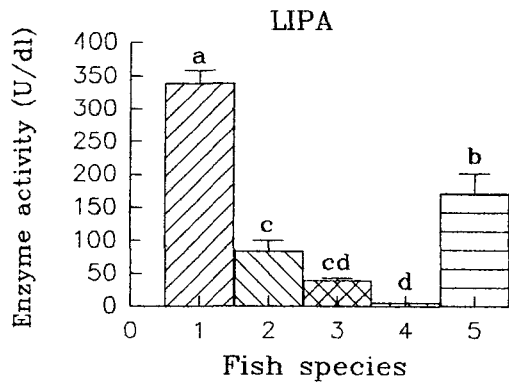


Fig. 4. Activity of lipase (LIPA) in serum of some fish during the late winter season. (1~5 of fish species refer to Fig. 1).

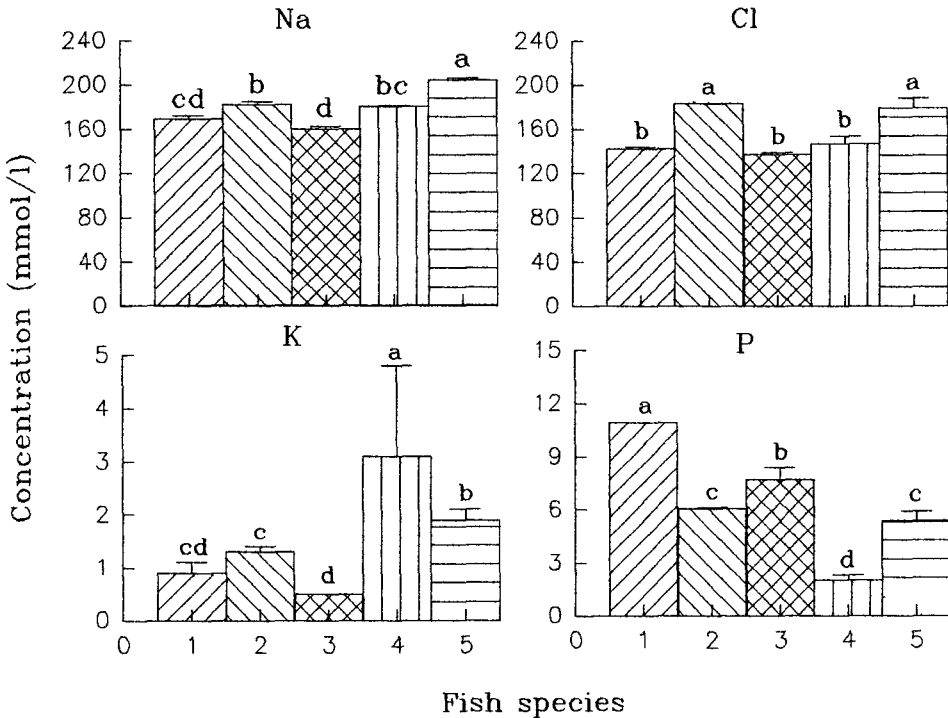


Fig. 5. Concentrations of sodium (Na), chloride (Cl), potassium (K) and phosphorus (P) in serum of some fish during the late winter season. (1~5 of fish species refer to Fig. 1).

mmol/l의 범위(尾崎, 1978)와도 잘 일치한다. 그리고 K 농도는 전반적으로 0.5~3.1mmol/l의 수준이고, 어종 간에는 차이가 있어 넙치(3.1 ± 1.7 mmol/l), 돌돔(1.9 ± 0.2 mmol/l), 조피볼락(1.3 ± 0.1 mmol/l), 은연어, 농어($0.5 \sim 0.9 \pm 0.2$ mmol/l)의 순이었고, 이들 수준도 기존의 보고(Ozaki, 1978)와 거의 비슷하였다. P 농도는 2.0~10.9mmol/l의 범위로 어종에 따라 큰 차이를 보여, 은연어(10.9mmol/l)가 가장 많고, 농어(7.7 ± 0.7 mmol/l), 조피볼락과 돌돔($5.4 \sim 6.0 \pm 0.1$ mmol/l), 넙치(2.0 ± 0.3 mmol/l)의 순으로 작았다. P의 어종별 분포는 TG의 분포와 정반대되는 경향을 보였는데, 이러한 경향은 잉어(Ogino et al., 1979)에서도 확인된 바 있다. 한편 P 농도가 은연어나 조피볼락처럼 비교적 활동성이 강한 어종에서 많은 것은 에너지원으로 쓰이는 phosphagen의 생성과도 관계가 있을 것으로 여겨진다(Sakaguchi, 1991).

아미노산전이효소(ALT, AST) 활성

이 밖에도 알라닌아미노전이효소(alanine transami-

niferase, ALT)와 아스파르타아미노전이효소(aspartate transaminiferase, AST)의 어종별 농도도 조사하였다(미발표 자료). ALT 활성은 넙치가 가장 높아 95 ± 23 U/l이었고, 나머지는 10U/l이하의 아주 낮은 활성만을 나타내어 어종간에 유의적인 차이를 보였다. 그리고 AST 활성도 어종간에 유의적인 차이를 보여, 은연어 363 ± 94 U/l, 넙치 112 ± 91 U/l이었고, 나머지는 20U/l이하의 활성을 나타내었다. 이들 아미노산 전이효소 활성은 대체로 AST이 ALT보다 높은 경향을 보였다.

이상의 결과를 종합하면, 어류 혈청중 단백질 성분인 TP와 ALB 농도는 어종에 따라서 큰 차이를 보이지 않았으나, 에너지원으로 많이 이용되는 지질 성분인 TG와 CHOL농도는 어종간에 유의적인 차이를 보였고 어종별 분포도 서로 상반되는 분포를 나타내었다. 그리고 GLC 농도는 어종간에 유의적인 차이를 보였고, TG와는 대조적인 경향이어서 어종에 따라서 에너지원으로 TG나 GLC를 이용하는 어종이 다르다는 것을 짐작할 수 있었다. 어종별 LIPA 활성은 뚜렷한 차이를 보였으며, TG 농도와는 정반대되는 경향

을 보였다. 무기질 중에서 Na과 Cl은 어종간에 큰 차이가 없었으나, K 농도는 TG 농도와 유사한 경향을 보인 반면 P 농도는 정반대의 경향을 나타내었다. 하지만 본 결과는 적정 수온보다 낮은 시기의 어류 혈청을 분석한 것이므로 이러한 경향이 고수온기 또는 적정 수온기에도 마찬가지로 나타나는지에 관해서는 더 조사할 필요가 있을 것이다.

요 약

우리 나라에서 많이 양식하고 있는 주요 어종의 혈액 성분과 관련한 기초 자료를 얻기 위하여, 저수온기(수온 12.7°C)에 월동중인 조피볼락(*Sebastes schlegelii*), 농어(*Lateolarax japonicus*), 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)과 함께 냉수성 어종인 은연어(*Oncorhynchus kisutch*)를 각 5~6마리씩 마취시키지 않은 상태로 꼬리 동맥에서 채혈하여 혈청 중의 총단백질(TP), 알부민(ALB), 중성 지방(TG), 콜레스테롤(CHOL), 포도당(GLC), 리파제(LIPA), 나트륨(Na), 칼륨(K), 염소(Cl), 인(P), 아미노산전효소(ALT, AST) 등을 혈액분석기로 분석하였다.

TP 농도는 2.9~5.1g/dl의 수준이었으며, ALB 농도는 1.2~1.9g/dl의 수준이었다. A/G 비는 은연어가 1.1 정도로 가장 높았고 나머지는 0.5~0.6 정도로 비슷하였다. 지질 성분인 TG와 CHOL 농도도 어종에 따라 달라, 넙치는 TG 농도가 큰 대신에 CHOL 농도가 낮았으며, 농어는 반대로 TG 농도가 낮은 대신에 CHOL 농도가 높았다. 두 지질 성분의 합은 넙치가 가장 많아 600mg/dl나 되었고, 농어나 조피볼락(약 400mg/dl), 돌돔이나 은연어(약 300mg/dl)의 순이었다. 혈당(GLC) 농도는 냉수성 어종인 은연어가 넙치에 비해 약 4배 가량 많아 61~76mg/dl이나 되었다. 한편 리파제(LIPA) 활성은 TG 농도와 정반대의 경향을 보여 은연어에서 가장 높았고, 넙치에서는 거의 확인되지 않았다. 무기질 중에서 Na, Cl과 K 농도는 160~204 mmol/l, 137~183mmol/l과 0.5~3.1mmol/l로 유사한 수준이었으나, P 농도는 은연어나 조피볼락처럼 비교적 활동성이 강한 어종일수록 많았다. ALT 활성은 넙치가 가장 높았고, AST 활성은 은연어가 높았으며, AST 활성은 모든 어종에서 ALT 활성보다 높았다.

참 고 문 헌

- Arnold-Reed, D. E. and R. J. Balment. 1991. Salinity tolerance and its seasonal variation in the flounder, *Platichthys flesus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 99A, 145~149.
- Bentinck S. J., M. H. Bealeu, P. Waterstrat, C. S. Tucker, F. Stiles, P. R. Bowser and L. A. Brown. 1987. Biochemical reference ranges for commercially reared channel catfish. *Prog. Fish Cult.*, 49, 108~114.
- Bjoernsson, B. T., G. Young, R. J. Lin, L. J. Deftos and H. A. Bern. 1989. Smoltification and seawater adaptation in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): Plasma calcium regulation, osmoregulation, and calcitonin. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 74, 346~354.
- Brill, R. W., P. G. Bushnell, D. R. Jones and M. Shimizu. 1992. Effects of acute temperature change, *in vivo* and *in vitro*, on the acid-base status of blood from yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Can. J. Zool.*, 70, 654~662.
- Byrne, P., D. Speare and H. W. Ferguson. 1989. Effects of a cationic detergent on the gills and blood chemistry of rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Dis. Aquat. Org.*, 6, 185~196.
- Fargher, R. C. and B. A. McKeown. 1990. Differential response of plasma prolactin to freshwater transfer of smolts and postsmolts of seawater-adapted coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Gen. Comp. Endocrinol.*, 78, 311~321.
- Fasaic, K. and J. Palackova. 1990. Total protein and serum fraction values in two-year carp (*Cyprinus carpio* L.). *Acta Biol. Jugosl. E. Ichthyol.*, 22, 23~30.
- Ferrer, M., J. A. Amat and J. Viñuela. 1994. Daily variations of blood chemistry values in the chinstrap penguin (*Pygoscelis antarctica*) during the Antarctic summer. *Comp. Biochem. Physiol.*, 107A, 81~84.
- Finstad, B., K. J. Nilssen and A. M. Arnesen. 1989.

- Does the Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) exhibit a seasonal change in seawater tolerance? . Aquaculture, 82, 383~384.
- Garcia, G. L., C. R. Munoz and A. V. de Andres. 1990. Serum cholesterol and triglycerides levels in *Scyliorhinus canicula* (L.) during sexual maturation. J. Fish Biol., 36, 499~509.
- Harbell, S. C. 1979. Studies on the pathogenesis of vibriosis in coho salmon *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum). J. Fish Dis., 2, 391~404.
- Haney, D. C., D. A. Hursh, M. C. Mix and J. R. Winton. 1992. Physiological and haematological changes in chum salmon artificially infected with erythrocytic necrosis virus. J. Aquat. Anim. Health, 4, 48~57.
- Hoffnagle T. L and A. J. Fivizzani, 1990. Stimulation of plasma thyroxine levels by novel water chemistry during smoltification in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 47, 1513~1517.
- Ikeda, Y. and T. Minami. 1982. Hematological and hemochemical assessment on streptococcal infection in cultured yellowtail. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 48, 1383~1388.
- Jeon, J. K., P. K. Kim and H. T. Huh. 1995. Storage stability of blood constituents in fish. J. Kor. Fish. Soc., 28(2), 131~136 (in Korean).
- Lal, B. and T. P. Singh. 1987. Changes in tissue lipid levels in the freshwater catfish *Clarias batrachus* associated with the reproductive cycle. Fish Physiol. Biochem., 3, 191~201.
- Lie, Oe., R. Waagboe and K. Sandnes. 1988. Growth and chemical composition of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed dry and silage-based diets. Aquaculture, 69, 343~353.
- Lin, R. J., T. F. Cross, C. P. R. Mills, R. S. Nishioka, E. G. Grau and H. A. Bern. 1988. Changes in plasma thyroxine levels during smoltification in hatchery-reared one-year and two-year Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 74, 369~378.
- McLeay, D. J. and D. A. Brown. 1979. Stress and chronic effects of untreated and treated bleached kraft pulpmill effluent on the biochemistry and stamina of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). J. Fish. Res. Board Can., 36, 1049~1059.
- Melotti, P., A. Meluzzi, P. Zucchi, G. Giordani and S. Cataudella. 1989. Seasonal effects on some serum and muscle enzymes of catfish (*Ictalurus melas*) and common carp (*Cyprinus carpio*). J. Appl. Ichthyol., 5, 74~79.
- Nakagawa, H., M. Kayama and K. Ikuta. 1977. Electrophoretic evidence of seasonal variation of carp plasma albumin. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., 16, 99~106.
- Ogino, C., L. Takeuchi, H. Takeda and T. Watanabe. 1979. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish, 45, 1527~1532 (in Japanese).
- Ozaki, H. 1978. Physiology of fish, Vol. 1, Blood and Circulation. Midori-shobo, Tokyo, 326 pp. (in Japanese).
- Perez, J., S. Zauny and M. Carrillo. 1988. Effects of diet and feeding time on daily variations in plasma insulin, hepatic c-AMP and other metabolites in a teleost fish, *Dicentrarchus labrax* L. Fish Physiol. Biochem., 5, 191~197.
- Peterson, M. S. 1990. Hypoxia-induced physiological changes in two mangrove swamp fishes: Sheephead minnow, *Cyprinodon variegatus* Lacepede and sailfin molly, *Poecilia latipinna* (Lesueur). Comp. Biochem. Physiol., 97A, 17~21.
- Quentel, C. and J. Aldrin. 1986. Blood changes in catheterized rainbow trout (*Salmo gairdneri*) intraperitoneally inoculated with *Yersinia ruckeri*. Aquaculture, 53, 169~185.
- Raizada, M. N., K. K. Jain and S. Raizada, S. 1984. A study of the biochemical constituents of blood of a freshwater teleost, *Cirrhinus mrigala* (Ham.). Comp. Physiol. Ecol., 9, 146~148.
- Rand, T. G. and D. K. Cone. 1990. Effects of *Ichth-*

- yophonus hoferi* on condition indices and blood chemistry of experimentally infected rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). J. Wildl. Dis., 26, 323~328.
- Sakaguchi, M. 1991. Extracts of shellfish and their metabolism. In Marine Biochemistry, M. Yamaguchi, ed. Univ. of Tokyo Press, Tokyo, pp. 80~101 (in Japanese).
- Santulli, A., A. Curatolo, A. Modica and V. D'Ame-lio. 1988. Time-course changes of plasma lipid levels and lipoprotein pattern after feeding in cultured sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. J. Fish Biol., 32, 859~867.
- Shikata, T., D. Kheyali and S. Shimeno. 1993. Effect of feeding rates on hepatopancreatic enzymes and body composition in common carp. Nissuishi, 59, 835~839.
- Siddiqui, N. 1977a. Seasonal, size and comparative study of plasma proteins of four airbreathing freshwater fishes. Proc. Indian Acad. Sci. Sect. B., 85, 384~390.
- Siddiqui, N. 1977b. Changes in blood plasma mineral concentration with feeding spawning and size of air-breathing catfish (*Clarias batrachus*). Zool. Jahrb., 81, 83~89.
- Singh, H. S. and T. V. Reddy. 1989. Effect of hypothermia on some biochemical and enzymologi- cal parameters of fish *Heteropneustes fossilis* (Bloch). Comp. Physiol. Ecol., 14, 100~102.
- Turner, A.H. 1937. Serum protein measurements in the lower vertebrates—II. In marine teleosts and elasmobranchs. Biol. Bull., 73, 511~526.
- Weber, L. J. 1979. The effect of carbon tetrachlo-ride on the total plasma protein concentration of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Comp. Bio-chem. Physiol., 64C, 37~42.
- Xu, P. and C. Cao. 1989. On hematology of the blood of fishes cultured in the lake pen. China Shuichan Xuebao, 13, 346~352.
- Yamawaki, K., W. Hashimoto, K. Fujii, J. Koyama, Y. Ikeda and H. Ozaki. 1986. Hemochemical changes in carp exposed to low cadmium concen-trations. Nissuishi, 52, 346~466 (in Japanese).
- Yanagisawa, T. and K. Hashimoto. 1984. Plasma al-bumins in elasmobranchs. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 50, 1083.
- Zaprudnova R. A. and V. I. Martem'-yanov. 1988. Seasonal changes in cations in the blood pla-sma of freshwater fishes. J. Ichthyol., 28, 73~79.

1994년 12월 2일 접수

1995년 1월 7일 수리