

## 해수순화에 따른 틸라피아 근육의 물리화학적 변화

황규철 · 윤호동 · 지청일 · 박정흠 · 김성준

국립수산진흥원

### Physicochemical Changes in *Tilapia Oreochromis niloticus* Muscle Induced by Acclimation to Sea Water

Gyu-Chul Hwang, Ho-Dong Yoon, Cheong-Il Ji, Jeong-Heum Park and Seong-Jun Kim

National Fisheries Research and Development Agency

#### Abstract

*Tilapia* cultured in fresh water were acclimated in sea water with daily increase of 5‰ of salinity and it was completely terminated at the 7th day (0 week). Each three *tilapia* acclimated were examined weekly based from 0 week to elucidate changes of chloride cells in gill, mineral contents and physical properties in muscle and biochemical characteristics in myofibrils. Chloride cells existed in gills were gradually developed in number and size by acclimation to sea water and became to almost constant state at the third week. Shearing value, compressing strength and content of minerals such as Mg, Na and K in muscle were showed remarkable increase by acclimation to sea water in comparison to those of muscle from *tilapia* reared in fresh water. Myofibrillar  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  and  $K^+$ (EDTA)-ATPase activities of *tilapia* acclimated in sea water also increased showing significant statistic difference ( $p < 0.01$ ) from those of *tilapia* reared in fresh water. However, thermostability of myofibrils was dropped by acclimation to sea water. The increase of shearing value and compressing strength in the muscle of *tilapia* by acclimation to sea water would be attributed to the increase of myofibrillar ATPase activities which act to accelerate the decomposition rate of ATP. Therefore, it is suggested that this phenomenon associated with muscle contraction could be brought an improvement of texture of *tilapia* acclimated in sea water.

Key words: *Tilapia*, Sea Water, Acclimation, Muscle, Myofibrillar ATPase

## 서 론

변온동물인 어류는 환경변화에 쉽게 적응하며 이러한 환경적응, 특히 온도순화에 따른 변화는 생리학적 또는 근육의 생화학적 측면에서 폭넓은 연구가 이루어져 왔다<sup>(1-6)</sup>. 온도변화에 노출된 어류는 행동, 순환 또는 대사 등의 수단을 통하여서도 그들 체온을 능동적으로 조절할 능력을 갖고 있지 못하므로 서식온도에 적응할 수 밖에 없으며, 따라서 변온동물은 외계온도와 1°C 이내의 오차로 그들 체온을 유지한다<sup>(7,8)</sup>. 이와 같은 어류가 폭넓은 온도범위에 적응하여 생존할 수 있는 것은 생리학적 및 생화학적인 양상이 온도변화에 대한 보상이라는 차원에서 바뀌어지기 때문이다<sup>(9,10)</sup>.

온도와 더불어 주요한 환경인자로서 어류에 영향을 미치는 염분은 산소 소비 또는 호흡으로 대표되는 대사에 깊이 관여하는데, 이는 외계와 밀접한 관계가 있는 아

가미 상피세포의 호흡, 배설, 산과 염기의 균형, 이온 및 삼투압 조절 등의 수많은 복잡한 기능에 의해서 가능하다.

최근 담수 양식어종으로서 각광을 받고 있는 틸라피아는 광범위한 환경조건에 내성을 지니고 있는 광온 및 광염성 어류로서 널리 알려져 있다<sup>(11,12)</sup>. 이와 같은 틸라피아의 특성을 이용하여 담수양식의 한계를 극복하기 위하여 소금기 있는 수역이나 바다를 양식장으로 활용하는 방안으로 틸라피아의 해수양식 및 순화에 대한 각종 연구가 이루어진 바 있으며<sup>(13-15)</sup> 해수순화에 따른 틸라피아 근육의 정미성분 및 지질조성의 변화에 대해서도 연구된 바 있다<sup>(16,17)</sup>. 그러나 염분이 어류의 생존, 성장 및 재생산을 수정함은 물론 분포까지도 제한하는 중요한 환경인자인 만큼 생리학적인 변화 이외에 근육의 생화학적 변화를 가져올 가능성이 있으며, 이와 같은 근육의 변화는 식감개선과도 밀접한 관계가 있을 것으로 생각되나 이에 대한 연구는 거의 없다. 따라서 이러한 변화를 단백질 차원에서 밝혀보고자 담수에서 양식한 틸라피아를 점진적으로 해수에 순화시키면서 근육 및 관련단백질의 물리화학적인 변화를 알아보았다.

Corresponding author: Gyu-Chul Hwang, Utilization Research Laboratory of National Fisheries Research & Development Agency, Shirang-ri, Kijang-up, Yangsan-gun, Kyongsangnam-do 626-900, Korea

## 재료 및 방법

### 틸라피아의 해수순화

국립수산진흥원 진해내수면 연구소 실내수조에서 양식한 틸라피아(체중  $807.8 \pm 154.2$ g) *Oreochromis niloticus*를 실험실로 운반, 약 180 l의 수조속에서 5~6마리씩 넣어 일정온도(25°C)로 유지하면서 매일 해수비율을 5%씩 점진적으로 높여 1주일만에 32% 해수에 순화시켰으며, 이때를 해수순화 0주째로 하여 매주 3마리씩 시료로 사용하였다. 한편 해수순화한 틸라피아의 담수로의 역순화도 점진적으로 담수비율을 높여 1주일만에 순화시켰다.

### 염세포의 관찰

틸라피아 아가미를 절취하여 Bouin's 용액에 고정한 후, paraffin 절편을 만들어 hematoxylin-eosin 용액으로 염색하였다. 이를 Canadian balsam으로 mounting하여 현미경으로 관찰하였다.

### 근육의 물성시험

절단강도(shearing value)는 일정한 크기로 한 근육절편(50×15×4 mm)에 대하여 Fudoh Kogyo사의 NRM-3010D의 rheoplotter에 면도날형 adapter(38×8×0.3 mm)를 부착하여 측정하였다. 시료대의 상승속도는 6 cm/min으로 유지하였다. 압착강도(compressing strength)는 면도날 대신에 밀면이 편평한 압착탄성용 adapter(φ 10 cm)를 사용하였다. 기록된 최대강도를 근육의 절단강도 및 압착강도로 간주하였다.

### 근원섬유의 조제

근원섬유는 Perry 및 Grey<sup>(18)</sup>의 방법을 일부 개량하여 조제하였다. 시료조제를 위한 모든 조작은 별도의 언급이 없는 한 4°C 이하에서 행하였다. 마쇄된 틸라피아의 보통육에 25 mM KCl을 함유하는 39 mM 붕산완충용액(pH 7.1)을 5배 가하여 균질화한 후 600×g에서 15분간 원심분리하였다. 침전물에 대하여 같은 조작을 1회 반복한 후 침전물 상층부의 미세한 부분만 취하여 4배량의 0.1 M KCl을 함유하는 39 mM 붕산완충용액(pH 7.1)에 현탁한 후 600×g, 15분간 원심분리로부터 침전되는 결합조직을 제거하였다. 같은 조작을 3회 이상 반복, 결합조직을 완전히 제거한 후 동일한 완충용액에 현탁하여 이를 근원섬유로 하였다.

### ATPase 활성 측정

근원섬유 ATPase 활성은 25°C에서 여러 조건하 즉,  $Mg^{2+}$ -ATPase 활성은 5 mM  $MgCl_2$ , 0.1 M KCl, 20 mM Tris-maleate(pH 7.0), 2 mM ATP, 0.5 mg myofibril/ml 및 0.25 mM  $CaCl_2$  또는 1 mM EGTA(ethylene glycol bis(β-amino ethylether)-N,N,N',N'-tetraacetic acid)의 반응액으로 측정하였다.  $Ca^{2+}$ - 및  $K^+$ (EDTA)-ATPase 활

성은 25 mM Tris-maleate(pH 7.0), 2 mM ATP 및 0.5 mg myofibrils/ml에 각각 5 mM  $CaCl_2$  및 0.05 M KCl 또는 1 mM EDTA 및 0.5 M KCl를 첨가한 반응액에서 측정하였다. ATP를 가하여 반응이 시작된 때로부터 2 ml씩을 1, 2, 4 및 6분에 취하여 15%의 TCA 1 ml로 반응을 정지시켰다. 유리된 γ-무기인산은 Fiske 및 Subbarow<sup>(19)</sup> 방법에 의해 측정하여 ATPase 활성으로 환산하였다.

한편, 근원섬유의 열안정성은 0.1 M KCl을 함유하는 39 mM 붕산완충용액(pH 7.1)에 근원섬유를 5 mg/ml 농도로 하여 45°C에서 0~30분간 열처리한 후, 25°C에서 25 mM Tris-maleate(pH 7.0), 0.5 M KCl, 5 mM  $CaCl_2$ , 1 mM ATP 및 0.2 mg myofibrils/ml 조건하에서 잔존  $Ca^{2+}$ -ATPase 활성을 측정하였다. 변성속도항수( $K_D$ )는 1차 반응식으로부터 계산하였다<sup>(20)</sup>.

### 전기영동

전기영동은 Laemmli<sup>(21)</sup> 방법에 준하여 0.1% SDS(sodium dodecyl sulfate)을 함유한 7.5~20% polyacrylamide 스톱배를 사용하였다. 분자량 결정을 위하여 표준단백질은 Sigma제의 토끼 골격근 myosin heavy chain (205 kDa), 대장균 β-galactosidase(116 kDa), 토끼 골격근 phosphorylase b(97.4 kDa), 소 혈청 albumin(66 kDa)과 ovalbumin(45 kDa) 및 소 적혈구 carbonic anhydrase(29 kDa)를 사용하였다.

### 기타 분석방법

단백질농도는 biuret법으로써 bovine serum albumin을 표준물질로 사용하여 측정하였다<sup>(22)</sup>. 결과로부터 얻은 평균값은 Student's t-test로 분석하였다<sup>(23)</sup>.

## 결 과

### 염세포

어류 아가미의 2차 새변에 존재하고 있는 염세포(chloride cell)는 염의 배출을 통하여 체내의 염농도를 일정하게 조절하는 역할을 하는데, Fig. 1에서 보는 바와 같이 틸라피아는 해수순화와 더불어 염세포가 발달하는 것을 볼 수 있었다. 즉 해수순화 0주째에는 거의 관찰되지 않았던 염세포가 1주째부터 나타나기 시작하여 이후 시간경과에 따라 그 갯수와 크기에서 점진적인 증가를 보여 순화 3주째에는 발달이 거의 완료되었다. 이러한 결과로 미루어 볼때 염세포는 해수순화와 더불어 발달되어 체내의 염농도를 효과적으로 조절한다는 것이 확인되었다.

### 근육의 물성

틸라피아의 해수순화에 있어서 가장 관심을 끄는 것은 가식부인 근육의 물성변화이다. 일반적으로 틸라피아를 해수에 순화시키면 근육의 식감이 증진된다는 설도 있어, 이를 확인하여 보기 위하여 일정한 크기의 근육에 대하여 절단강도 및 압착강도를 측정하였다. 그 결과 Table 1

에서 보는 바와 같이 담수사육어의 절단강도 및 압착강도 106 및 889 g/cm<sup>2</sup>는 해수순화와 더불어 각각 127 및 1,091 g/cm<sup>2</sup>로 뚜렷한 증가를 나타내어(p<0.01), 해수중에서는 이러한 양상이 일정하게 지속되다가 담수로 역순화함에 따라 원래 강도로 되돌아 가는 것으로 미루어, 해수순화에 따른 이와 같은 근육의 뚜렷한 물성변화가 식감에 직접 관련할 것으로 추측되었다.

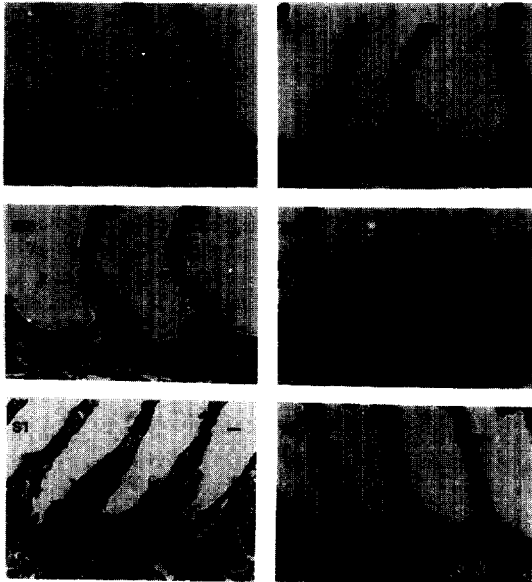


Fig. 1. Light micrographs of gill lamella from both tilapia reared in fresh water and acclimated in sea water, showing development of chloride cell induced by acclimation to sea water. The bars represent 10  $\mu$ m. Abbreviations used: CC, chloride cell; F, tilapia cultured in fresh water; S0, acclimation to sea water over a week (0 week); S1-3, week reared in sea water after S0; SF, reacclimation to fresh water

미량금속

해수 중에는 담수에 비해 미량금속이 풍부하게 존재하고 있는데 이들 원소가 틸라피아의 해수순화 중에 어떻게 변화하는지를 알아보았다. Table 2에서 보는 바와 같이 5개의 원소중 Mg, K 및 Na 함량은 해수순화어와 담수어간에는 통계학적인 유의치(p<0.05, p<0.01)를 보이며 해수순화와 더불어 뚜렷한 증가추세를 나타내다가, 담수에 역순화함에 따라 다시 감소되었다. 따라서 틸라피아 근육의 미량금속의 함량은 서식환경에 의해 가역적으로 변화됨을 알 수 있었다.

근원섬유의 변화

해수순화에 따른 틸라피아 근육의 물성변화는 근육단

Table 1. Changes in physical properties of tilapia muscle<sup>1)</sup> by acclimation to sea water

Rearing condition	Shearing value <sup>2)</sup> (g/cm <sup>2</sup> )	Breaking strength <sup>3)</sup> (g/cm <sup>2</sup> )
Fresh water	106 ± 1 <sup>4)</sup>	889 ± 14
Sea water		
0 <sup>5)</sup>	127 ± 1(p<0.01) <sup>6)</sup>	1091 ± 12(p<0.01)
1	126 ± 1	1204 ± 30
2	127 ± 2	1226 ± 11
3	127 ± 1	1233 ± 14
Fresh water(reacclimation)		
0	128	1217
1	91	886

<sup>1)</sup>Sliced in size of 50.0×15.0×4.0 mm

<sup>2)</sup>Measured with a knife type adapter with 0.3 mm thickness

<sup>3)</sup>Measured with a flat bail type adapter with 10 mm diameter

<sup>4)</sup>Data are given as mean ± S.E. with 3 individuals

<sup>5)</sup>Acclimation time indicated with week

<sup>6)</sup>Differences between fresh water and sea water tilapia are significant in Student's t-test(p<0.01)

Table 2. Mineral contents (ppm) of muscle from tilapia both reared in fresh water and acclimated in sea water

Rearing condition	Fe	Mg	Ca	K	Na
Fresh water	10.2 ± 2.2 <sup>1)</sup>	167.0 ± 24.6	17.7 ± 1.2	5103.0 ± 324.3	351.8 ± 9.1
Sea water					
0 <sup>2)</sup>	12.3 ± 1.9	227.8 ± 9.3	18.1 ± 0.8	6452.6 ± 185.2	479.0 ± 50.7
	NS <sup>3)</sup>	p<0.05 <sup>4)</sup>	NS	p<0.01	p<0.01
1	8.6 ± 3.8	234.3 ± 11.6	19.7 ± 0.4	6848.7 ± 390.3	688.0 ± 35.0
2	5.7 ± 1.7	224.5 ± 19.2	21.4 ± 1.5	7597.9 ± 98.6	743.7 ± 44.8
3	10.7 ± 2.8	251.8 ± 11.0	20.9 ± 3.4	7220.6 ± 261.4	749.5 ± 28.2
Fresh water(reacclimation)					
0	15.9	249.0	16.9	7170.3	871.4
1	13.5	202.9	18.3	6336.0	478.9

<sup>1)</sup>Data are given as mean ± S.E. with 3 individuals

<sup>2)</sup>Acclimation time indicated with week

<sup>3)</sup>Differences between fresh water and sea water tilapia are not significant in Student's t-test (p>0.05)

<sup>4)</sup>Differences between fresh water and sea water tilapia are significant in Student's t-test (p<0.05)

백질의 생화학적 특성과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각되어, 근육의 60~75%를 차지하고 있는 근원섬유를 대상으로 그 변화를 알아보았다. 근원섬유에는 근수축에 관여하는 단백질인 myosin과 actin이 존재하며, myosin에는 ATPase라는 효소가 head 부분에 존재하면서 에너지원인 ATP를 분해하여 근수축을 유도한다. 따라서 ATPase 활성의 변화는 근육의 물성변화와 밀접한 관계가 있을 것으로 짐작된다.

Fig. 2의 SDS-PAGE(polyacrylamide gel electrophoresis)상에서 근육 및 근원섬유의 패턴은 전형적이었으며, 해수순화에 따른 이들 구성 fragment의 변화는 없었다.

근원섬유 ATPase 활성은 Table 3에서와 같이 Mg<sup>2+</sup>(EGTA)-, Mg<sup>2+</sup>(Ca)-, Ca<sup>2+</sup>- 및 K<sup>+</sup>(EDTA)-ATPase가

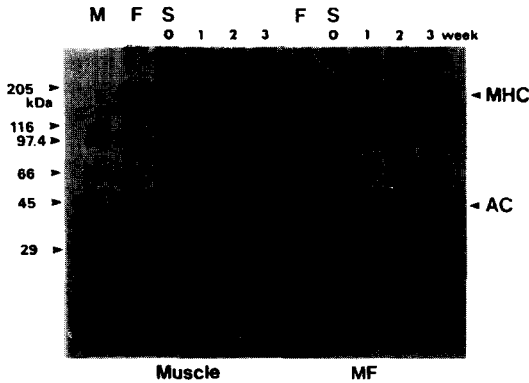


Fig. 2. SDS-PAGE patterns of myofibrils and muscle from both tilapia cultured in fresh water (F) and acclimated in sea water (S). 50 µg myofibrils was applied to 7.5~20% gradient polyacrylamide slab gel containing 0.1% SDS. Abbreviations used: M, molecular weight markers; MHC, myosin heavy chain; AC, actin

각각 0.023, 0.413, 0.476 및 0.230 µmol Pi/min·mg이었던 것이 해수순화 직후는 0.039, 0.636, 0.629 및 0.299 µmol Pi/min·mg으로 현저히 증가하여 통계학적인 유의차(p<0.01)를 나타내었다. 이와 같은 ATPase 활성은 이후 일정한 값을 유지하다가 담수에 재순화함에 따라 원래의 수준으로 되돌아 가는 것으로 미루어, 근원섬유의 생화학적 성상에도 뚜렷한 변화가 있음이 입증되었다.

한편, 근원섬유를 열처리하여 잔존 Ca<sup>2+</sup>-ATPase 활성을 지표로 하여 해수순화에 따른 틸라피아 근원섬유의 열안정성을 알아보았다. Table 4에서 보는 바와 같이 45 °C에서 담수산 틸라피아 근원섬유의 변성속도항수(K<sub>D</sub>)는

Table 4. Changes in inactivation rate constant (K<sub>D</sub>) of tilapia myofibrils by acclimation to sea water. Two mg myofibrils/ml in 39 mM borate buffer (pH 7.1) containing 0.1 M KCl was treated at 45°C for 0~30 min. The remaining Ca<sup>2+</sup>-ATPase activity was measured at 25°C in a reaction mixture containing 25 mM Tris-maleate (pH 7.0), 0.5 M KCl, 5 mM CaCl<sub>2</sub>, 1 mM ATP, and 0.2 mg myofibrils/ml. K<sub>D</sub> was calculated from its first order reaction analysis (s<sup>-1</sup>)

Rearing condition	K <sub>D</sub> × 10 <sup>3</sup>
Fresh water	1.0 ± 0.2 <sup>1)</sup>
Sea water	
0 <sup>2)</sup>	1.7 ± 0.2 (p<0.05) <sup>3)</sup>
1	1.8 ± 0.2 (p<0.05)
2	2.0 ± 0.0 (p<0.01)
3	2.0 ± 0.2 (p<0.01)
Fresh water(reacclimation)	
0	2.0
1	1.6

<sup>1)</sup>Data are given by mean ± S.E. with 3 individuals

<sup>2)</sup>Acclimation time indicated with week

<sup>3)</sup>Differences between fresh water and sea water tilapia are significant in Student's t-test (p>0.01)

Table 3. Changes in myofibrillar ATPase activities of tilapia by acclimation to sea water. Mg<sup>2+</sup>-, Ca<sup>2+</sup>- and K<sup>+</sup>(EDTA)-ATPase activities (µmol Pi/min·mg) were measured at 25°C in 0.1 M, 0.05 M and 0.5 M KCl, respectively, at pH 7.0

Rearing condition	Mg <sup>2+</sup> (EGTA)	Mg <sup>2+</sup> (Ca)	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> (EDTA)
Fresh water	0.023 ± 0.001 <sup>1)</sup>	0.413 ± 0.017	0.476 ± 0.011	0.230 ± 0.005
Sea water				
0 <sup>2)</sup>	0.039 ± 0.002 (p<0.01) <sup>3)</sup>	0.636 ± 0.043 (p<0.01)	0.629 ± 0.031 (p<0.01)	0.299 ± 0.010 (p<0.01)
1	0.034 ± 0.008	0.607 ± 0.003	0.640 ± 0.024	0.244 ± 0.010
2	0.035 ± 0.005	0.641 ± 0.073	0.633 ± 0.056	0.257 ± 0.022
3	0.035 ± 0.009	0.633 ± 0.052	0.642 ± 0.062	0.242 ± 0.008
Fresh water(reacclimation)				
0	0.026	0.612	0.580	0.202
1	0.024	0.580	0.542	0.189

<sup>1)</sup>Data are given by mean ± S.E. with 3 individuals

<sup>2)</sup>Acclimation with week

<sup>3)</sup>Differences between fresh water and sea water tilapia are significant in Student's t-test (p>0.01)

$1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 이던 것이 해수순화의 시간경과에 따라  $1.7 \times 10^{-3}$  내지  $2.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 로 뚜렷히 증가( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ) 하였다가, 담수에 역순화함에 따라 다시 원상태로 감소되며 안정화되었다. 이러한 결과로부터 틸라피아 근원섬유의 열안정성은 해수순화에 의해 현저히 저하됨을 알 수 있었다.

## 고 찰

광온, 광염성 어종인 틸라피아는 담수어에서 양식되어 소비단계에 일시 해수순화시킴으로서 핏감으로서 식감 증진효과가 있는 것으로 추측되어 왔다. 그러나 이러한 효과는 해수순화에 따른 변화가 거의 없는 정미성분<sup>(16)</sup>이나 지방산 조성<sup>(17)</sup> 등의 식품성분으로는 해명되지 않으므로 이 문제를 단백질 차원에서 밝혀보고자 하였다.

틸라피아를 해수에 순화하였을시 염농도를 조절하는 것으로 알려진 염세포는 해수순화와 더불어 그 수와 크기가 점차적으로 발달하다가 순화 3주째에 완료되어 백장어의 경우와 거의 비슷한 경향을 나타내었다<sup>(24)</sup>. 이와 같은 생리학적 측면의 변화와 더불어 근육의 물성 및 근원섬유의 생화학적인 양상도 현저한 변화를 나타내었다(Table 1~3). 어류의 해수적응에 중요한 역할을 하는 것으로 추측되는 아가미의 염세포에 존재하고 있는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase는 해수순화에 따라 현저한 활성증가를 수반하며<sup>(24-27)</sup> 이러한 경향은 내장에서도 동일한다<sup>(28,29)</sup>, 이는 혈청과 해수환경사이의 삼투농도구배를 유지하기 위한 반응으로서 일어나는 Na/K pump 효율과 관련되는 적응특성으로서 알려져 있다<sup>(30,31)</sup>. 따라서 해수순화한 틸라피아 근원섬유 ATPase 활성증가는 생리적인 측면에서의  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase 활성증가와 같은 경향을 나타내었는데, 이는 해수중의 풍부한 미량원소가 해수순화에 따라 근육중에 축적되어 이온농도가 증가된 것보다 밀접한 관계가 있을 것으로 추측된다. 이러한 결과는 잉어의 근육세편을 온수로 순간처리하였을 때의 물성변화와 같이 근원섬유 ATPase 활성증가가 근육중의 ATP를 보다 빨리 분해하여 근수축을 신속히 유도함으로써 일어나는 것으로 생각되었다<sup>(32)</sup>.

그러나 이러한 결과를 보다 명백하게 밝히기 위해서는 ATP의 분해 및 사후경직속도에 해수순화가 미치는 영향도 밝혀볼 필요가 있으며, 한편 이와 같은 근원섬유 ATPase 활성증가와 더불어 열안정성은 저하되므로 해수순화가 틸라피아의 가공적성에 어떻게 영향하는지도 밝혀볼 필요가 있다고 생각된다.

## 요 약

담수산 틸라피아를 하루 5%씩 해수농도를 높여 1주일에 걸쳐 32% 해수에 순화시켜, 이때를 기준(0주)으로 하여 1주일 간격으로 염세포의 발달, 근육의 물성 및 미량원소의 변화와 더불어 근원섬유의 ATPase 활성 및

열안정성에 대한 변화를 알아보았다. 아가미의 염세포는 해수순화와 더불어 점진적으로 개수가 늘어나고 크기가 커져 순화 3주째에 발달이 완료되었다.

근육의 절단 및 압착강도도 해수순화에 따라 현저히 증가하여 근육의 물성변화를 보였으며, 일부 미량원소(Mg, Na, K)도 뚜렷한 축적을 나타내었다. 근원섬유 ATPase 활성은 해수순화와 더불어 담수산의 것에 비해 유의차를 보이며 증가하였다. 근육중의 미량원소의 증가와도 관련이 있을 것으로 보이는 근원섬유 ATPase 활성증가는 결국 근육중의 ATP 분해를 촉진하여 근수축을 신속히 유도, 근육의 탄력을 증대시킴으로써 식감이 개선되는 것으로 추측되었다. 한편, 근원섬유의 열안정성은 해수순화에 의해 현저히 저하되었다.

## 감사의 말

본 연구용 시료를 제공하여 주신 국립수산진흥원 진해해수면연구소 김종두 소장님을 비롯한 연구원 여러분들께 감사드립니다.

## 문 헌

- Hazel, J.R. and Prosser, C.L.: Molecular mechanisms of temperature compensation in poikilotherms. *Physiol. Rev.*, **54**, 620(1974)
- Johnston, J.A., Davison, W. and Goldspink, G.: Adaptations in  $\text{Mg}^{2+}$ -activated myofibrillar ATPase activity induced by temperature acclimation. *FEBS Lett.*, **50**, 293(1975)
- Johnston, I.A., Walesby, N.J., Davison, W. and Goldspink, G.: Temperature adaptation in fish myofibrillar adenosine triphosphatases. *J. Comp. Physiol.*, **199**, 195 (1975)
- Hwang, G.C., Ushio, H., Watabe, S., Iwamoto, H. and Hashimoto, K.: The effects of thermal acclimation on rigor mortis progress of carp stored at different temperatures. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**(3), 541(1991)
- Hwang, G.C., Watabe, S. and Hashimoto, K.: Changes in carp myosin ATPase induced by temperature acclimation. *J. Comp. Physiol.*, **B160**, 233(1990)
- Hwang, G.C., Ochiai, Y., Watabe, S. and Hashimoto, K.: Changes of carp myosin subfragment-1 induced by temperature acclimation. *J. Comp. Physiol.*, **B161**, 141(1991)
- Caney, F.G., Teal, J.M., Kannisher, J.W., Lawson, K.D. and Beckett, J.S.: Warm-bodied fish. *Amer. Zool.*, **11**, 137(1971)
- Linthicum, D.S. and Carey, F.G.: Regulation of brain and eye temperatures by the bluefin tuna. *Comp. Biochem. Physiol.*, **43a**, 425(1972)
- Somero, G.N.: Enzymic mechanisms of temperature-compensation. Immediate and evolutionary effects of temperature on enzymes of aquatic poikilotherms. *Amer. Nat.*, **103**, 517(1969)
- Somero, G.N. and Hochachka, P.W.: Isoenzymes and short term temperature compensation in poikilother-

- rms: activation of lactate dehydrogenase isoenzymes by temperature decreases. *Nature*, **223**, 194(1969)
11. Whitfield, A.K. and Blaber, S.J.M.: The effects of temperature and salinity on *Tilapia rendalli* Boulenger 1886. *J. Fish. Biol.*, **9**, 99(1976)
  12. Beamish, F.W.H.: Influence of temperature and salinity acclimation on temperature preferenda of the euryhaline fish *Tilapia nilotica*. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **27**(7), 1209(1970)
  13. Watanabe, W.O., Kuo, C.M. and Huang, M.C.: The ontogeny of salinity tolerance in the tilapias *Oreochromis aureus*, *O. niloticus* and *O. mossambicus* x *O. niloticus* hybrid, spawned and reared in freshwater. *Aquaculture*, **47**, 353(1985)
  14. Watanabe, W.O., Kuo, C.M. and Huang, M.C.: Salinity tolerance of Nile tilapia fry (*Oreochromis niloticus*) spawned and hatched at various salinities. *Aquaculture*, **48**, 159(1985)
  15. 허형택, 김종만, 이순길, 박철원, 손진기, 전중균, 명정구, 노봉호: 틸라피아의 해수양식 기술개발에 관한 연구. 한국과학기술원 해양연구소 BSPE 00147-264-3, 1(1990)
  16. 전중균, 주동식, 박철원, 허형택, 이용호: 해수사육 틸라피아근육의 식품성분연구. 1. 담수 및 해수사육한 틸라피아 근육의 정미성분. 한국수산학회지, **23**(4), 334(1990)
  17. 전중균, 김진수, 박철원, 한명수, 허형택, 이용호: 해수사육 틸라피아 근육의 식품성분 연구. 2. 담수 및 해수사육한 틸라피아 근육의 지질성분. **23**(4), 339(1990)
  18. Perry, S.V. and Grey, T.C.: A study of the effects of substrate concentration and certain relating factors on the magnesium-activated myofibrillar adenosine triphosphatase. *Biochem. J.*, **64**, 184(1956)
  19. Fiske, C.K. and Subbarow, Y.: The colorimetric determination of phosphorus. *J. Biol. Chem.*, **66**, 375(1925)
  20. Yasui, T., Kawakami, H. and Morita, F.: Thermal inactivation of myosin A-adenosine triphosphatase in the presence of F-actin. *Agric. Biol. Chem.*, **32**, 225(1968)
  21. Laemmli, U.K.: Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, **227**, 680(1970)
  22. Gornall, A.G., Bardawill, C.J. and David, M.M.: Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.*, **177**, 751(1949)
  23. Snelecor, G.W. and Cochran, W.G.: "Statistical methods", Iowa State Univ. Press, Iowa (1980)
  24. 日北谷京編: 魚類組織圖說-正常組織と病理組織. 講談社, 東京, p.54(1982)
  25. Zaugg, W.S. and Mclain, L.R.: Adenosine triphosphatase activity in gills of salmonids: seasonal variations and salt water influence in cohosalmin, *Onchorynchus kisutch*. *Comp. Biochem. Physiol.*, **35**, 587(1970)
  26. Forrest, J.N. Jr., Cohen, A.D., Schon, D.A. and Epstein, F.H.: Na transport and Na-K-ATPase in gills during adaptation to seawater: effects of cortisol. *Am. J. Physiol.*, **224**(3), 709(1973)
  27. Folmar, L.C. and Dickhoff, W.W.: Plasma thyroxine and gill Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase changes during seawater acclimation of cohosalmon, *Onchorynchus kisutch*. *Comp. Biochem. Physiol.*, **63A**, 329(1979)
  28. Hossler, F.E., Ruby, J.R. and Mcllwain, T.D.: The gill arch of the mullet, *Mugil cephalus*. II. Modification in surface ultrastructure and Na, K-ATPase content during adaptation to various salinities. *J. Exp. Zool.*, **208**(3), 399(1979)
  29. Jampol, L.M. and Epstein, F.H.: Sodium-potassium-activated adenosine triphosphatase and osmotic regulation by fishes. *Am. J. Physiol.*, **218**(2), 607(1970)
  30. Valverde, Y.R., Arbex, O.F. and Castro Farea, M.V.: Adaptative response of (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) ATPase from gills and intestine of *Plecostomus ancistroides* and *Tilapia rendalli* to a gradual increase in water salinity. *Rev. Brasil. Biol.*, **42**(1), 129(1982)
  31. Luge, C., Skaramuca, B. and Sanko, J.: Na, K-ATPase activity and acclimation of the fish *Salema Sarpa Salpa* L. to diluted sea water. *Periodicum Biologorum*, **91**(2), 231(1989)
  32. Watabe, S., Hwang, G.C., Ushio, H., Hatae, K., Yamana, H. and Hashimoto, K.: Acceleration of physico-chemical change in carp muscle by washing in either chilled or heated water. *J. Food Sci.*, **55**(3), 674(1990)

(1993년 1월 19일 접수)