

효소·화학적 방법에 의한 참돔, *Pagrus major*의 품질판정

배진한 · 김태진¹ · 정호진 · 여해경 · 심길보 · 조영제*

부경대학교 식품생명공학부, ¹(사)한국생선회협회

Quality Evaluation of Red seabream, *Pagrus major* by Chemoenzymatic Method

Jin-Han Bae, Tae-Jin Kim¹, Ho-Jin Jeong, Hae-Kung Yeo, Kil-Bo Shim and Young-Je Cho*

Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
¹Korea Association of Sliced Raw Fish

Chemoenzymatic method was used in this study to evaluate the quality of cultured red seabream. Level of ATP related compounds, ATPase and Adenylate energy charge (AEC) well reflected changes in condition of fish. ATP level in the muscle of exercised cultured red seabream was decreased significantly during cultured period. In contrast, the level of ADP in the muscle was increased during the period. Level of ATP related compounds in the muscle of cultured red seabream without exercise didn't show significant difference compared to the exercised group. AEC value in muscle of cultured red seabream without exercise was 0.89 ± 0.02 , while AEC value of the exercised group was 0.88 ± 0.04 . ATP and AEC levels among different size of fish did not show any significant difference. AEC value in all sample was higher than 0.8, indicating that the condition of cultured fish was healthy. Activity of Mg^{2+} (+Ca $^{2+}$), Mg^{2+} (-Ca $^{2+}$) and Ca $^{2+}$ -ATPase during culture period did not change significantly, regardless of exercise. Therefore, the AEC appears to have some validity as fish health indicator.

Keywords: Chemoenzymatic, Exercise, Adenylate energy charge (AEC), ATPase

서 론

Adenylate energy charge (AEC)는 스트레스 지표를 판단하기 위하여 Atkinson (1968)에 의하여 제안되었으며, 진주담치 (Skjodal and Barkati, 1982), 굴(Moal et al., 1989), 레드 이어 선피쉬(Dehn, 1992) 등 많은 연구자들에 의하여 수산동물의 스트레스에 대한 연구가 수행된 바 있다. AEC는 $(ATP + 1/2ADP)/(ATP + ADP + AMP)$ 의 비율로 정의되는데, ATP (adenosine triphosphate)분자의 3개 인산기는 막대한 에너지를 가지고 있다. 이것이 ADP (adenosine di-phosphate)로 분해되면 2개의 인산기를 가지게 되며 이는 ATP에서 가지는 에너지의 절반이 되며 AMP (adenosine mono-phosphate)는 에너지가 결여된 상태이다. AEC의 범위는 0~1사이로써 0은 ATP 관련화합물이 AMP로 전환된 상태를 말하며, 1은 모든 ATP 관련화합물이 ATP로 존재하는 것을 의미한다. 그러므로, 이를 결합의 상관적인 정도는 개개의 세포에서 에너지의 효용성을 측정하는 것으로 이용되고 있다. Ivanovici (1980)는 AEC 수치를 이용하여 건강도의 등급화를 시도하였는데, 생체기관의 성장과 재생산이 최적일 때 AEC

수치가 0.8이상을 나타낸다고 하였다. 또한 성장이 줄고 재생산이 되지 않는 제한된 상태에서는 AEC 수치가 0.5~0.7을 나타내었고 성장과 재생산이 되지 않는 상태에서는 AEC 수치가 0.5 이하를 나타낸다. 그러나 생체기관이 최적의 상태로 된다면 AEC 수치는 빨리 회복된다고 하였다. Maguire (1998)는 스트레스에 따른 가리비의 생화학적 영향에 관한 보고에서 실험 개체가 어떤 스트레스를 받아 매우 허약한 것이 발견된다면 가리비의 AEC는 0.3~0.5이며, 만일 0.5~0.7의 정도를 나타낸다면 이 가리비는 서서히 성장을 하며, AEC가 0.8~1의 상태는 아주 건강한 상태라고 보고하였다. 즉, 스트레스 받은 어육은 스트레스를 중화하기 위하여 더 많은 에너지를 사용하게 되고 이로 인하여 AEC 수치가 낮아지게 되는 것이다. 일반적으로 어육에서 ATP로부터 IMP (inosine mono-phosphate)가 생성되는 과정까지 분해반응이 신속히 진행되는 반면 IMP의 분해는 완만하기 때문에 주로 IMP가 많이 축적되고 ADP나 AMP는 소량씩 증가한다. IMP는 정미성분으로 glutamic acid와 상승 효과를 일으켜서 감칠맛이 향상된다고 한다(Yamaguchi and Takahashi, 1984). ATP 관련 화합물의 분해속도는 어체의 생리조건, 치사조건, 즉 기 직전의 운동량, 저장조건에 따라 심한 차이를 보인다. 고통

*Corresponding author: yjcho@pknu.ac.kr

받은 어류가 즉살된 어류에 비교하여 분해가 빨리 일어나고 절식이나 운동시킨 피로어는 죽은 직후에도 ATP는 극히 적고 IMP가 많은 것을 볼 수 있다. 따라서 New AEC는 이런 점을 보완하여 AEC 계산에 IMP 함량을 포함하여 계산함으로써 건강도 측정에서 정확성을 높이려고 하였다.

본 연구에서는 운동 유무, 횟수 그리고 어체 크기에 대한 양식산 어종의 품질판정을 위한 지표를 검색하기 위하여 효소화학적 방법 즉, ATP 관련 화합물, ATPase 활성(Okata et al., 1986) 그리고 양식산 활어의 건강한 상태와 칼슘의 노출, 염도의 감소, 산소의 부족, 궁핍 등과 같은 스트레스를 받은 상태를 판단하는 adenylate energy charge (AEC) 수치를 이용하여 활어의 건강도 측정을 위한 지표로써 활용하고자 조사하였다.

재료 및 방법

사육수조

사육수조는 1.5톤($1.5 \times 1.5 \times 0.6$ m), 1.8톤($1.7 \times 1.7 \times 0.9$ m)의 원형 FRP (fiberglass reinforced plastics)수조를 사용하여 모래여과조($1.6 \times 0.8 \times 0.4$ m)를 통과시킨 해수를 펌프를 이용하여 각 실험수조에 흘러 주었다. 각 수조의 해수는 3일에 한번씩 교환하여 주었다.

실험어

동해안 지역의 민간 양식장에서 10개월 정도 양식한 참돔, *Pagrus major*을 부산광역시 소재의 계류장에 운반된 지 5일 이내의 활어를 구입하였다. 제작된 수조에서 안정화시키고 20°C의 해수를 하루에 1°C씩 단계적으로 수온을 조절하여 최종 수온을 17°C로 하였다. 각 수조의 유속은 5 m/s으로 하였으며 운동조건으로 1일 1회(09:00~15:00)는 6시간으로 설정하였고 1일 2회(09:00~12:00, 14:00~17:00)는 오전, 오후에 각 3시간씩 운동시켰다. 각각의 조건에 따라 운동시킨 후 각 수조에서 3마리를 임의로 채취하여 benzocaine (ethyl p-aminobenzoate)으로 마취 후에 즉살(두부의 급소를 강타)시켜 방혈 후 아이스 박스에 담아서 실험실로 운반하여 실험용 시료로 사용하였다. 실험기간 동안 사료에 대한 영향을 배제하기 위하여 절식시켰으며, 실험에 사용된 참돔의 크기는 Table 1에 나타내었다.

실험방법

가. ATP 관련 화합물(ATP related compounds)의 측정

ATP 관련 화합물의 측정은 Iwamoto et al. (1987)의 방법에 따라 시료를 추출한 다음 여과($0.20 \mu\text{m}$ membrane filter) 및 탈

Table 1. Datas of sampled fish

	Body weight (kg)	Total length (cm)	Body width (cm)	Body depth (cm)
No exercise	0.7±0.1	33.5±1.5	3.9±0.3	12.3±0.8
Exercise (twice/day)	1.0±0.1	38.7±0.6	4.6±0.5	13.7±0.6
Exercise (once/day)	1.2±0.2	39.8±2.5	4.6±0.8	14.3±1.0

기한 후 HPLC (Waters 600, USA)에 주입하였다. Column 이동상으로는 0.2% triethylamine solution (pH 7.0)을 사용하였다. 측정조건은 시료주입량 5 μl, 이동상 유량 0.8 ml/min, column 온도 40°C, 흡수파장 254 nm, peak 면적 적산법, 분석시간은 50 min이었다.

나. Adenylate energetic charge 측정

Thebault et al. (2000)의 방법에 의거, 실험어를 즉살하여 근육을 절취한 다음, perchloric acid로 nucleotides를 추출하였다. 추출된 nucleotides는 ATP 관련 화합물의 분석 조건을 이용하여 HPLC로 분석 후, 아래의 식을 이용하여 AEC 수치를 계산하였다.

$$\text{AEC} = \frac{\{\text{ATP}\} + 1/2\{\text{ADP}\}}{\{\text{ATP}\} + \{\text{ADP}\} + \{\text{AMP}\}}$$

$$\text{New AEC} = \frac{\{\text{ATP}\} + 1/2\{\text{ADP}\} + \{\text{IMP}\}}{\{\text{ATP}\} + \{\text{ADP}\} + \{\text{AMP}\} + \{\text{IMP}\}}$$

다. ATPase activity

먼저 근원섬유를 Perry and Grey (1956)의 방법에 따라 조제한 다음, 근원섬유의 ATPase 활성은 25°C에서 여러 가지 조건에서 측정하였는데, 즉 Mg^{2+} -ATPase 활성은 5 mM MgCl₂, 0.1 M KCl, 20 mM Tris-maleate buffer (pH 7.0), 2 mM ATP, 0.5 mg myofibril/ml 및 0.25 mM CaCl₂의 반응액으로 측정하였다. Ca^{2+} -ATPase 활성은 25 mM Tris-maleate (pH 7.0), 2 mM ATP 및 0.5 mg myofibril/ml에 각각 5 mM CaCl₂ 및 0.05 M KCl을 첨가한 반응액에서 측정하였다. ATP를 가하여 2분간 반응시킨 후, 15% TCA 1 ml를 가하여 반응을 정지시켰다. 유리된 γ -무기인산은 Fiske and Subbarow (1925)의 방법에 따라 측정하고 ATPase 활성으로 환산하였다.

통계처리

실험의 측정결과를 SAS (Statistical Analysis System) 통계프로그램을 이용하여 측정치에 대한 평균 및 표준편차를 구하였으며 차이검정은 Duncan의 다중비교(Duncan's multiple range test)로 $P<0.05$ 에서 결과간의 유의성을 검정하였다.

결 과

운동 유무에 의한 차이

운동 사육구와 비운동 사육구에서 ATP 관련 화합물의 변화를 보면, 운동 0일차의 ATP 함량은 $8.79 \pm 0.50 \mu\text{mol/g}$ 이었지만 15일차에는 $6.35 \pm 2.48 \mu\text{mol/g}$ 로 운동기간에 따라 ATP 함량은

Table 2. Changes in ATP related compounds and AEC value in red seabream muscle during exercise (unit : $\mu\text{mole/g}$)

	0 day	5 day	10 day	15 day	20 day
ATP	8.79 \pm 0.50 ^a	8.28 \pm 0.20 ^{ab}	8.01 \pm 0.18 ^{ab}	6.35 \pm 2.48 ^b	7.76 \pm 0.45 ^{ab}
ADP	0.87 \pm 0.15 ^b	1.06 \pm 0.14 ^{ab}	0.89 \pm 0.24 ^b	1.15 \pm 0.06 ^{ab}	1.43 \pm 0.35 ^a
AMP	0.54 \pm 0.10 ^a	0.51 \pm 0.10 ^a	0.49 \pm 0.15 ^a	0.66 \pm 0.19 ^a	0.54 \pm 0.21 ^a
IMP	0.06 \pm 0.04 ^a	0.07 \pm 0.05 ^a	0.06 \pm 0.05 ^a	0.06 \pm 0.04 ^a	0.06 \pm 0.06 ^a
AEC	0.90 \pm 0.01 ^a	0.90 \pm 0.01 ^a	0.90 \pm 0.02 ^a	0.83 \pm 0.08 ^a	0.87 \pm 0.01 ^a
New AEC	0.90 \pm 0.01 ^a	0.90 \pm 0.01 ^a	0.90 \pm 0.02 ^a	0.83 \pm 0.08 ^a	0.87 \pm 0.01 ^a

Means within a column superscripted with different letter are significant different ($P<0.05$).

Table 3. Changes in ATP related compounds and AEC value in red seabream muscle during no exercise (unit : $\mu\text{mole/g}$)

	0 day	5 day	10 day	15 day	20 day
ATP	7.07 \pm 1.58 ^a	7.15 \pm 1.21 ^a	7.07 \pm 1.76 ^a	6.75 \pm 0.91 ^a	7.70 \pm 1.48 ^a
ADP	0.89 \pm 0.10 ^a	0.87 \pm 0.02 ^a	0.95 \pm 0.14 ^a	0.84 \pm 0.05 ^a	0.91 \pm 0.03 ^a
AMP	0.44 \pm 0.03 ^a	0.50 \pm 0.09 ^a	0.54 \pm 0.08 ^a	0.43 \pm 0.07 ^a	0.54 \pm 0.04 ^a
IMP	0.10 \pm 0.05 ^a	0.24 \pm 0.26 ^a	0.47 \pm 0.62 ^a	0.48 \pm 0.33 ^a	0.09 \pm 0.08 ^a
AEC	0.89 \pm 0.02 ^a	0.89 \pm 0.01 ^a	0.88 \pm 0.01 ^a	0.89 \pm 0.02 ^a	0.89 \pm 0.02 ^a
New AEC	0.89 \pm 0.02 ^a	0.89 \pm 0.01 ^a	0.89 \pm 0.01 ^a	0.90 \pm 0.02 ^a	0.89 \pm 0.02 ^a

Means within a column superscripted with different letter are significant different ($P<0.05$).

약간의 감소를 보이면서 20일차에는 ATP 함량이 7.76 \pm 0.45 $\mu\text{mole/g}$ 으로 나타났다. 또한 운동 0일차의 ADP 함량은 0.87 \pm 0.15 $\mu\text{mole/g}$ 이었지만 20일차에는 1.43 \pm 0.35 $\mu\text{mole/g}$ 로 ATP의 소모만큼 약간의 증가를 보이고 있다(Table 2). 반면, 비운동 사육구에서 0일차의 ATP 함량은 7.07 \pm 1.58 $\mu\text{mole/g}$ 이었지만 15일차에는 6.75 \pm 0.91 $\mu\text{mole/g}$, 20일차에서는 7.70 \pm 1.48 $\mu\text{mole/g}$ 으로 나타났다(Table 3). AEC 수치는 평균적으로 운동 사육구에서 0.88 \pm 0.04, 비운동 사육구에서 0.89 \pm 0.02으로 나타났으며 New AEC 수치는 AEC 수치와 비슷하게 나타났다(Table 2, 3).

참돔의 근원섬유에 있어서 Ca^{2+} 이 존재할 때 Mg^{2+} -ATPase 활성의 변화는 운동시키기 전 운동 사육구의 Mg^{2+} -ATPase 활성은 0.35 $\mu\text{mole Pi/min \cdot mg}$ 였으며, 비운동 사육구에서는 0.34 $\mu\text{mole Pi/min \cdot mg}$ 으로 ATPase 활성이 비슷하게 나타났다. 운동 사육구의 운동기간이 증가할수록 ATPase 활성이 증가하여 운동 20일에는 0.42 $\mu\text{mole Pi/min \cdot mg}$ 의 함량을 나타내었으나, 비운동 사육구에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 근원섬유에 Ca^{2+} 가 첨가되지 않았을 때 Mg^{2+} -ATPase 활성은 운동시키기 전에 각각 0.10 $\mu\text{mole Pi/min \cdot mg}$, 0.14 $\mu\text{mole Pi/min \cdot mg}$ 로 비운동 사육구가 운동 사육구에 비하여 Mg^{2+} -ATPase 활성이 높았으며 사육기간 동안 활성이 서서히 감소하는 경향을 나타내었지만 운동 사육구에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 한편, Ca^{2+} -ATPase 활성은 운동 사육구와 비운동 사육구에서 사육기간 동안 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 1).

운동 횟수에 의한 차이

2회/일 운동시킨 근육에서의 ATP 함량은 0일차에 8.98 \pm 0.34 $\mu\text{mole/g}$, 10일차에 8.00 \pm 0.78 $\mu\text{mole/g}$, 20일차에 7.95 \pm 0.93 $\mu\text{mole/g}$ 으로 사육기간 동안 약간의 감소를 보이고 있었다. 반

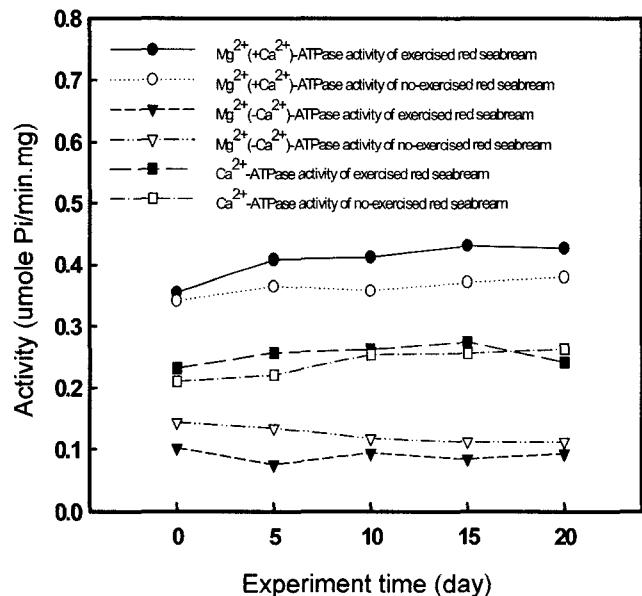


Fig. 1. Changes of Mg^{2+} ($+\text{Ca}^{2+}$), Mg^{2+} ($-\text{Ca}^{2+}$) and Ca^{2+} -ATPase activity in red seabream during cultured.

면에 ADP 함량은 사육기간 동안 약간의 증가를 보이고 있었고(Table 4). 1회/일 운동시킨 근육에서의 ATP 함량은 0일차에 9.12 \pm 0.21 $\mu\text{mole/g}$, 5일 차에 8.47 \pm 0.28 $\mu\text{mole/g}$, 10일 차에 4.60 \pm 2.21 $\mu\text{mole/g}$, 15일 차에 8.49 \pm 0.20 $\mu\text{mole/g}$, 20일 차에 8.24 \pm 0.41 $\mu\text{mole/g}$ 으로 나타났다. ADP 함량은 0일차에 1.06 \pm 0.14 $\mu\text{mole/g}$, 10일차 0.99 \pm 0.10 $\mu\text{mole/g}$, 20일차에 1.09 \pm 0.18 $\mu\text{mole/g}$ 으로 나타났다(Table 5). AEC 수치는 평균적으로 2회/일 운동시킨 사육구에서 0.88 \pm 0.04으로 나타났고 1회/일 운동시킨 사육구에서 0.88 \pm 0.03으로 나타났다. 또한 New AEC 수치는 AEC 수치와 비슷하게 나타났다(Table 4, 5).

Table 4. Changes in ATP related compounds and AEC value in red seabream muscle during the cultured by twice exercised per a day (unit : μole/g)

	0 day	5 day	10 day	15 day	20 day
ATP	8.98±0.34 ^a	8.61±0.33 ^a	8.00±0.78 ^a	6.54±2.79 ^a	7.95±0.93 ^a
ADP	0.99±0.07 ^a	1.04±0.10 ^a	1.00±0.07 ^a	1.05±0.08 ^a	1.12±0.08 ^a
AMP	0.56±0.02 ^a	0.57±0.01 ^a	0.57±0.07 ^a	0.66±0.19 ^a	0.50±0.10 ^a
IMP	0.14±0.07 ^a	0.14±0.06 ^a	0.77±1.13 ^a	0.80±1.11 ^a	0.17±0.03 ^a
AEC	0.88±0.04 ^a	0.88±0.04 ^a	0.87±0.04 ^a	0.87±0.06 ^a	0.89±0.02 ^a
New AEC	0.90±0.00 ^a	0.89±0.01 ^a	0.90±0.01 ^a	0.85±0.09 ^a	0.89±0.02 ^a

Means within a column superscripted with different letter are significant different ($P<0.05$).

Table 5. Changes in ATP related compounds and AEC value in red seabream muscle during the cultured by once exercise per a day (unit : μole/g)

	0 day	5 day	10 day	15 day	20 day
ATP	9.12±0.21 ^a	8.47±0.28 ^a	4.60±2.21 ^b	8.49±0.20 ^a	8.24±0.41 ^a
ADP	1.06±0.14 ^a	0.95±0.06 ^a	0.99±0.10 ^a	0.96±0.10 ^a	1.09±0.18 ^a
AMP	0.57±0.04 ^a	0.54±0.04 ^a	0.46±0.05 ^a	0.54±0.06 ^a	0.51±0.11 ^a
IMP	0.16±0.10 ^a	0.79±1.12 ^a	0.19±0.08 ^a	0.16±0.03 ^a	0.16±0.03 ^a
AEC	0.90±0.01 ^a	0.90±0.00 ^a	0.83±0.05 ^b	0.90±0.00 ^a	0.90±0.01 ^a
New AEC	0.90±0.01 ^a	0.91±0.01 ^a	0.84±0.05 ^b	0.90±0.00 ^a	0.90±0.01 ^a

Means within a column superscripted with different letter are significant different ($P<0.05$).

Table 6. Changes in ATP related compounds and AEC value in red seabream muscle by body weight (unit : μole/g)

	0.7~0.9 kg	1~1.2 kg	1.5~1.7 kg
ATP	8.41±0.25 ^a	8.72±0.89 ^a	7.80±1.36 ^a
ADP	1.08±0.14 ^a	1.11±0.13 ^a	0.76±0.25 ^a
AMP	0.53±0.05 ^a	0.56±0.09 ^a	0.41±0.18 ^a
IMP	0.49±0.70 ^a	0.69±1.03 ^a	0.34±0.38 ^a
AEC	0.89±0.00 ^a	0.89±0.00 ^a	0.91±0.02 ^a
New AEC	0.90±0.01 ^a	0.90±0.01 ^a	0.92±0.02 ^a

Means within a column superscripted with different letter are significant different ($P<0.05$).

어체 크기에 의한 차이

어체 크기에 따른 ATP 관련화합물의 변화는 0.7~0.9 kg의 크기를 가진 참돔에서는 ATP 함량이 $8.41\pm 0.25 \mu\text{mole/g}$, 1.0~1.2 kg에서는 $8.72\pm 0.89 \mu\text{mole/g}$, 1.5~1.7 kg에서는 $7.80\pm 1.36 \mu\text{mole/g}$ 으로 나타났다. 반면에 ADP 함량은 0.7~0.9 kg의 크기를 가진 참돔에서는 $1.08\pm 0.14 \mu\text{mole/g}$, 1.0~1.2 kg에서는 $1.11\pm 0.13 \mu\text{mole/g}$, 1.5~1.7 kg에서는 $0.76\pm 0.25 \mu\text{mole/g}$, 1.5~1.7 kg에서는 $0.76\pm 0.25 \mu\text{mole/g}$ 으로 나타났으며 어체 크기에 따른 ATP 관련화합물의 변화는 거의 없었으며, 평균적인 AEC 수치는 0.90 ± 0.02 로 나타났다(Table 6).

고 찰

양식 활어의 품질을 판정하기 위하여 ATP 관련 화합물, ATPase 활성, AEC 수치를 이용한 효소·화학적 지표를 검색하였다. ATP 관련 화합물의 함량은 사육기간 동안에 거의 변화를 보이지 않았으며 운동 사육구의 ATP 함량은 약간의 감소를

보이지만 유의적 차이를 보이지 않았다. 이는 ATP의 농도를 항상 일정하게 유지하도록 근육 세포 내의 대사계가 특수화되어 있기 때문에 단시간의 운동에 의하여 소비된 ATP는 creatine phosphate가 creatine kinase에 의하여 ADP와 반응하여 ATP가 재생되는 경로와 adenylate kinase라는 효소에 의하여 2분자의 ADP로부터 1분자의 ATP가 재생되는 반응 경로로 재생되었기 때문이다. Franklin et al. (1996)는 청어를 온도별로 3분 동안 운동을 시킨 후 물질대사의 회복에 대하여 살펴본 결과, 운동 직후 ATP 함량이 75%감소하지만 60~120분 후에는 원래의 함량으로 회복되고 ADP와 AMP의 함량은 큰 변화가 없는 것으로 보고하였다.

어류의 근육단백질은 어육의 품질과 선도에 중요한 영향을 미친다. 어류의 근원섬유단백질이 아주 불안정하기 때문에 같은 시료에서 많은 지표를 동시에 측정하기가 곤란하다. 따라서 반응 속도론적 해석이 가능하고 수치화하기 쉽고, 많은 시료의 비교 측정이 용이한 ATPase 활성을 단백질 변성의 지표로 사용한다. ATPase 활성은 운동기간에 따른 약간의 차이는 보이고 있으나, 참돔을 즉살시킬 때 작용할 수 있는 요인들이 균수축에 관여하여 actin과 myosin이 actomyosin의 결합으로 발생하는 장력이 ATPase 활성을 높이거나 낮추기 때문에 객관적인 자료로써 사용하기는 부적합하다고 판단된다.

Livingstone (1982)은 AEC 수치가 해수의 온도, 염도, 운동량, 생식(生殖), 기아 등 여러 가지 스트레스 요인에 대하여 생화학적인 반응을 나타낸다고 보고하였다. 또한 Moal et al. (1989)는 참돔의 AEC 수치 변화를 살펴본 결과, AEC 수치가 0.8~0.9 일 때는 스트레스가 없는 환경이면서 생체기관은 성장, 생식 및 성장 비율이 높은 상태이고 0.5~0.7일 때는 부분적인 스트레스

가 있는 환경으로 성장이 제한되고 생식이 없고 성장 비율이 낮거나 거의 성장하지 않는다고 하였다. 본 연구에서 건강상태가 양호하고 외관상으로 표피, 안구가 뚜렷한 운동 사육구에서 평균적으로 AEC 수치는 0.88 ± 0.04 으로 나타났고 비운동 사육구에서는 0.89 ± 0.02 으로 나타났다. 하지만 운동 사육구에서 15 일째의 참돔 1마리가 상피세포의 박리와 염증이 나타났으며 이 때의 AEC 수치는 0.74로 나타났다. 운동 횟수에 따른 비교에서, 1회/일 운동 사육구 10일째의 참돔 1마리와 2회/일 운동 사육구 15일째의 참돔 2마리에서 상피세포의 박리와 염증 및 안구의 백탁 현상이 나타났다. 이때 1회/일 운동 사육구의 AEC 수치는 0.79, 2회/일 운동 사육구의 AEC 수치는 각각 0.74, 0.82 으로 나타났다. 운동이란 스트레스에 의하여 AEC 수치가 낮게 나타나지 않은 것은 Dunn and Johnston (1986)의 보고에서처럼 어류를 강제로 운동시킨 후 AEC 수치는 0.49로 나타나지만 휴식을 준 후에는 AEC 수치가 0.85로 회복된다고 하였다. 이는 ATP의 빠른 회복에 의하여 소비되었던 ATP가 재생되었기 때문이다. 본 연구에서도 참돔을 운동시킨 후 휴식을 주었기 때문에 소비되었던 ATP가 무·유산소 경로로 회복되어서 운동 사육구와 비운동 사육구의 AEC 수치가 큰 차이를 보이지 않은 것으로 사료된다.

어육에 있어 사후 ATP는 급속히 감소하고 IMP가 축적되는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 IMP가 축적되는 것은 AMP를 탈아미노화하여 IMP로 만드는 adenylic acid deaminase의 활성이 큰데 비하여, IMP를 탈인산화하여 inosine으로 분해하는 inosinic acid phosphatase의 작용이 상대적 미약하기 때문이다. AEC 계산에 IMP 함량을 포함하여 New AEC 수치의 적용 가능성을 살펴보았으나, 본 연구에서는 살아있는 활어를 즉살하여 신속하게 ATP 관련 화합물을 측정하였으므로, ATP 관련 화합물이 IMP까지 분해가 이루어지지 않아서 New AEC 와 AEC 수치가 큰 차이를 보이지 않고 있었다.

그러므로, ATP 관련 화합물이나 ATPase 활성, AEC 수치를 이용하여 활어의 품질 판정을 시도하였으며 ATP 관련 화합물과 ATPase 활성은 어체의 생리조건, 치사조건, 죽기직전의 운동량, 저장조건에 따라 심한 차이를 보이고 있으므로 객관적 지표로 사용하기 힘들다. AEC 수치는 환경 및 물리적 스트레스에 대하여 생체 기관의 물질대사 평가가 지표로 사용됨에 따라 균육의 스트레스 정도를 판단하여 활어의 건강 상태를 측정하는 객관적 지표로 사용 가능하다고 판단된다.

요 약

운동 사육구와 비운동 사육구에서의 참돔육에 대한 ATP 관련 화합물의 변화를 살펴보면 운동 사육구에서는 ATP 함량이 약간의 감소를 보이지만 ADP 함량은 ATP의 소모만큼 약간의 증가를 보이고 있었다. 반면, 비운동 사육구에서 운동 사육구 대조적으로 기간이 길어짐에 따라 ATP 함량이 큰 변화를 보이

고 있지 않았다. AEC 수치는 운동 사육구에서 0.88 ± 0.04 으로 나타났고 비운동 사육구에서는 0.89 ± 0.02 으로 나타났으며 외관상으로 참돔의 건강상태는 양호하였다. 참돔의 근원섬유에 있어서 $Mg^{2+}(+Ca^{2+})$ -ATPase 활성의 변화는 운동 사육구의 ATPase 활성이 증가하여 운동 20일에는 $0.42 \mu\text{mol Pi/min} \cdot \text{mg}$ 의 함량을 나타내었으나, 비운동 사육구에서는 큰 차이를 보이지 않고 있다. $Mg^{2+}(-Ca^{2+})$ -ATPase 활성은 운동시킨 전에는 각각 $0.10 \mu\text{mol Pi/min} \cdot \text{mg}$, $0.14 \mu\text{mol Pi/min} \cdot \text{mg}$ 으로 나타나 비운동 사육구가 운동 사육구에 비하여 높았으며 사육기간 동안 활성이 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. Ca^{2+} -ATPase 활성 또한 사육기간 동안 큰 변화를 보이지 않았다. 운동 횟수에 따른 차이에서는 1회/일 운동시켰을 때에는 ATP 관련 화합물의 함량은 2회/일 운동시킨 것과 비슷한 수준이었으며 운동횟수에 따른 AEC 수치의 큰 변화는 나타나지 않았다. 어체 크기에 따른 ATP 함량은 어체의 크기에 따른 차이가 거의 없었으며, 크기에 따른 AEC 수치의 변화 또한 큰 차이가 나타나지 않았다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 수산특정연구개발사업의 연구비 지원(과제번호: 20020074)에 의한 것이며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- Atkinson, D. E., 1968. The energy charge of the adenylate pool as a regulatory parameter. Interaction with feedback modifiers. *Biochemistry* **7**: 4030–4034.
- Dehn, P. F., 1992. Seasonal change in adenylate energy metabolism in the muscle and liver of the redear sunfish, *Lepomis microlophus*. *Aquat. Living Resour.*, **5**: 197–204.
- Dunn, J. F. and I. A. Johnston, 1986. Metabolic constraints on burst-swimming in the Antarctic teleost *Notothenia neglecta*. *Mar. Biol.* **91**: 433–440.
- Fiske, C. K. and Y. Subbarow, 1925. The colorimetric determination of phosphorous. *J. Biol. Chem.*, **66**: 375–400.
- Franklin, C. E., I. A. Johnston, R. S. Batty and M. C. Yin, 1996. Metabolic recovery in herring larvae following strenuous activity. *J. of Fish Biology*, **48**: 207–216.
- Ivanovici, A. M., 1980. The adenylate energy charge in the estuarine mollusk, *Pyrazus ebeninus*. Laboratory studies of responses to salinity and temperature. *Comp. Biochem. Physiol.*, **66A**: 43–55.
- Iwamoto, M., H. Yamanaka, H. Abe, H. Ushio, S. Watabe and K. Hashimoto, 1987. ATP and creatine phosphate breakdown in spiked plaice muscle during storage and activities of some enzyme envolved. *J. Food Sci.*, **53**: 1162–1165.
- Livingstone, D. R., 1982. General biochemical indices of sublethal stress. *Mar. Pollut. Bull.*, **13**: 261–263.
- Maguire, J. A., 1998. Aspects of the biology of cultured scallops (*Pecten maximus L.*) with particular reference to stress. Ph. D. thesis. University Collage Cork, Ireland.

- Moal, J., J. F. Samain, J. R. Lecoz and J. Y. Daniel, 1989. Responses and adaptations of adenylate energy charge and digestive enzyme activities to tidal emersion of *Crassostrea gigas* population in Marennes-Oleron Bay. *Marine Biology*, **53**(2-3): 699–704.
- Okada, T., N. Inoue and M. Akiba, 1986. Electron microscopic observation and biochemical properties of carp myosin B during frozen storage. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **51**: 345–353.
- Perry, S. V. and T. C. Grey, 1956. A study of the effects of substrate concentration and certain relaxing factors on the magnesium-activated myofibrillar adenosine triphosphatase. *Biochem. J.*, **64**: 184–192.
- Skjoldal, H. R. and S. Barkati, 1982. ATP content and adenylate energy charge of the mussel *Mytilus edulis* during the annual reproductive cycle in Lindasponllene. *Mar. Biol.*, **70**: 1–6.
- Thebault, M. T., J. P. Raffin, A. M. Picado, E. Mendonca, E. F. Skorkowski and Y. L. Gal, 2000. Coordinated changes of adenylate energy charge and ATP/ADP : Use in ecotoxicological studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **46**: 23–28.
- Yamaguchi, S. and C. Takahashi, 1984. Hedonic functions of monosodium glutamate and four basic taste substances used at various concentration levels in single and complex systems. *Agical. Biol. Chem.*, **48**(4): 1077–1081.

원고접수 : 2004년 1월 30일
수정본 수리 : 2004년 7월 13일
책임편집위원 : 권혁주