

사료 중에 첨가된 효모(*Phaffia rhodozyma*)가 이스라엘 잉어와
비단잉어 및 틸라피아의 성장, 체조성, 근육
탄력도 및 색소 착색에 미치는 영향

조재윤 · 이진환 · 장대흥* · 이상호** · 최지만**

부경대학교 양식학과, *부경대학교 응용수학과

**해태제과 주식회사

Effects of the Yeast (*Phaffia rhodozyma*) in the Diet on Growth,
Body Composition, Muscle Elasticity and Pigmentation of Israeli
Strain of Common Carp, Colored Carp (*Cyprinus carpio*)
and Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Jae-Yoon Jo, Jin Hwan Lee, Dae Hung Jang*,

Sang Ho Lee** and Ji Man Choi**

Department of Aquaculture and *Department of Applied Mathematics, Pukyong
National University, Pusan 608-737, Korea

**Haitai Confectionery Co. Ltd., Seoul 150-105, Korea

The effects of the yeast, *Phaffia rhodozyma* in the diet on growth, body composition, muscle elasticity and pigmentation of Israeli strain of common carp, colored carp and Nile tilapia were investigated. Ten percent of the yeast was added to semi purified diet as an experimental feed 1. Ten percent of brewers yeast in the semi purified diet (experimental feed 2) was tested for comparing the growth performance between two semi purified diets. A commercial diet was also used for the check of growth rate of the semi purified diets.

All experimental fish were fed for 10 weeks. The weight gains among the experimental fish were not significantly different ($P>0.05$). There were not significantly different in body composition, muscle elasticity among the the fishes fed three experimental diets.

There were significant differences ($P<0.05$) of pigment deposition in the muscle of Israeli strain of common carp and on the skin of colored carp between treated and non treated group. But there were no differences of pigment deposition in flesh and skin of tilapia among the three diets.

Key words : Yeast (*Phaffia rhodozyma*), Growth, Body composition, Muscle elasticity, Pigmentation, Carps, Nile tilapia

서 론

어류 양식의 발달과 함께 양식 어류의 사료 개발이 급속히 진전되어 왔으며, 양어 사료의 연

구 방향도 단순히 성장을 촉진시키기 위한 것과 함께 양식 어류의 품질을 좋게 하는 방향으로도 진행되고 있다. 그 중의 하나로 사료 성분 중 자연 색소를 첨가하여 양식 어류의 근육 색과 육질

개선과 아울러 관상어의 체색 증진에 대한 관심이 증가되고 있다.

양식 어류의 색소 첨가에 대한 연구는 무지개 송어가 먹이로부터 *canthaxanthin*을 흡수하여 근육 내에 비교적 높은 농도로 축적시킬 수 있다는 Deufel (1965)의 연구가 시작되면서(Choubert, 1985), 근육에 붉은 색이 특징인 연어과 어류의 상품성을 증가시키기 위한 많은 연구가 이루어져 왔으며(Johnson et al., 1977; Johnson et al., 1979; Arai et al., 1987; Gentles & Haard, 1991), 이는 특히 연어과 어류의 상품성에 중요한 요소가 된다(Torrissen, 1989).

일반적으로 척추 동물인 어류에서는 생체 내에서 카로티노이드계 색소가 합성되지 않아, 외부에서 먹이를 통하여 공급되어야 한다. 이에 따라 자연계에서 어류는 미소 갑각류나 다른 무척추 동물 먹이로부터 카로티노이드 색소를 얻고 있으며(Hata and Hata, 1973; Steven, 1984), 이들 색소는 어류 성장과 성숙 그리고 유전 등의 요인에 따라 대사 활동을 통해 근육 조직에서 축적되거나 제거(Torrissen, 1989)된다. 그러므로 천연의 먹이가 부족한 양식장 환경에서는 체내의 색소 공급을 위해서는 자연 색소의 첨가가 필수적이다.

어류에 유용한 색소의 발현을 위해 종래에는 사료에 새우나 다른 갑각류의 껍질 등의 가공 부산물을 갈아서 넣어주는 것이 카로티노이드 색소의 전형적인 공급 형태였다. 그러나 이들 새우, 게 등 자연 먹이 성분을 카로티노이드 색소 공급원으로 사용할 경우 이들 색소 공급원의 공급량의 불균형과 아울러 심한 가격 변동으로 인해 색소 첨가가 필요한 어류의 경우 생산 비용을 증가시킬 가능성이 크다. 따라서 최근에는 합성 카로티노이드 색소를 이용하여 양식어의 외부 체색과 근육 내의 착색 증진을 위한 연구가 진행되고 있다(Binkowski et al., 1993). 현재 널리 쓰이는 색소 대체원으로는 *phaffia* 효모(*Phaffia rhodozyma*)가 있으며, *phaffia* 효모는 대량 배양이 가능하므로 수요에 따른 안정적인 공급이

가능하며, 아미노산과 비타민 B군과 같은 필수 영양소가 풍부하고 갑각류보다 5~50배 정도 더 높은 *astaxanthin*을 함유(Johnson et al., 1980; Torrissen, 1989)한다.

이에 본 연구는 현재 우리 나라에서 널리 사육되며 수요가 많은 양식 종인 이스라엘 계통의 보통잉어(이스라엘 잉어), 틸라피아, 그리고 관상어인 비단잉어를 대상으로 이들 어류의 사료에 *phaffia* 효모를 첨가시켰을 때 실험어의 성장과 체조성, 근육의 탄력도 및 근육 색과 체색의 변화 등을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험어 및 사육 환경

실험어는 부산수산대학교 양어장의 순환여과식 탱크에서 사육 중인 이스라엘 잉어와 비단잉어(*Cyprinus carpio*) 및 나일 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)를 이용하였고 이들의 평균 체중은 각각 650 ± 20 g, 80 ± 10 g 및 200 ± 20 g이었다.

실험 수조는 실내에 설치한 폐쇄식 순환 여과 사육 수조이며, 각 실험 장치는 4개의 유리 수조와 1개의 여과조로 독립적으로 구성되었으며 유리 수조 1개의 크기는 $60 \times 45 \times 45$ cm이고, 여과조의 크기는 $75 \times 95 \times 75$ cm로 각 실험 장치의 총수량은 약 0.89 m³였다. 각각의 실험 장치에 4개의 수조 중 3개에 이스라엘 잉어와 비단잉어는 각각 5마리씩, 틸라피아는 15마리씩 수용하고 이러한 실험 장치 3개를 이용하여 총 9개의 수조로 각 어종 당 및 실험 사료별로 3반복하고 1개의 수조는 물만 순환시켰다. 실험어는 처음 방향한 다음 2주간 수조에 순치 기간을 거친 후 실험하였다.

실험 기간 중 수온은 평균 23°C로, 용존 산소(KRK, KDO-5151, Japan)는 어종별로 틸라피아는 2.5~4.0 ppm, 이스라엘 잉어와 비단잉어는 4.0~7.0 ppm을 유지하였다.

2. 실험 사료 제조와 보관

실험 사료는 정제 원료를 사용하여 전기 분쇄

기로 분쇄하여 동결 건조시킨 phaffia 효모를 사료량의 10% 첨가하였으며, phaffia 효모 첨가에 의한 사료 내 성분 상의 차이에 대한 성장 또는 기타 생리적 영향에 대한 대조구로서 맥주 효모를 10% 첨가한 사료를 제조하였다(Table 1). 그리고 이들 두 사료는 정제 원료를 사용하여 반 정제 사료로 만들었으므로 일반 원료를 사용하는 시판 상품 사료를 먹인 대조구를 두어 두 반정제 사료와의 성장을 비교하였다. 시판 상품 사료와 실험실 내에서 제조한 반정제 실험 사료는 제조 후 강제 송풍 건조기에서 건조시킨 후, 밀봉하여 -30°C에서 냉동 보관하면서 소량씩 사용하였다.

Table 1. Composition of experimental diets (%)

Ingredient	Diet ¹		
	PD	BD	CD
Casein	32	32	
Gelatin	8	8	
Dextrin	28	28	
Cellulose	11	11	
CMC ²	2	2	
Vitamin premix ³	2	2	
Mineral premix	1	1	
Phaffia yeast	10	-	
Brewers yeast	-	10	
Fish oil	6	6	
DM basis			
Pigment (µg/g)	41.5	2.1	-
Crude protein	36.8	38.5	34.8
Crude fat	7.2	6.7	5.2

¹PC, phaffia yeast diet; BD, Brewers yeast diet; CD, commercial diet.

²Carboxymethyl cellulose.

³Vitamin mixture for PD and BD was used Grobig-fish (Bayer Korea Ltd, Seoul).

3. 사육 기간과 체중 측정

사육 기간은 1993년 10월 18일부터 동년 12월 27일 까지 10주간이었고, 실험 기간 중 성장률을 알고 이에 따른 사료 공급량을 보정하기 위하여 실험 시작 일로부터 2주와 4주 및 8주째 체중을 측정하였다.

4. 근육 내의 일반 분석 및 색소 분석

근육의 일반 분석은 AOAC (1984)법에 따라, 수분은 상온가열건조법, 회분은 회화법, 지방은 산분해법으로 측정하였고, 단백질은 Kjeldahl 질소 정량법으로 분석하였다. 색소 분석은 어육을 동결건조기(동양기연, Model TFD-5LF5)로 동결시켜, 건조 후 분쇄기(Sunban Appliance Co., Model No. 14081)로 분쇄하였다. 분쇄된 어육의 중량을 측정하고, acetone 을 분쇄 어육에 첨가한 다음 filter paper (Whatman 41)를 사용하여 색소 추출을 하였다. 그 후 추출액은 암실에서 농축하여 Spectrophotometer (Pharmacia, Model Pharmacia LKB Biochrom 4060)로 스캔(350-600 nm)하여 색소 함량을 측정하였다. 색소 함량 계산은 Johnson et al. (1977)의 계산법을 이용하였다.

Total carotenoids (µg/g 건조어육)

$$= \frac{\text{acetone (ml)} \times \text{O.D 최대값}}{0.16 \times \text{건조어육중량(g)}}$$

5. 근육 탄력도 분석

근육의 탄력도 분석은 이스라엘 잉어와 틸라피아를 대상으로 기계적 탄력도와 관능적 탄력도로 나누어 측정하였다. 기계적 탄력도는 부경대학교 식품공학과에서 Ando et al. (1991)의 방법에 따라 제조된 기기(Table 2)를 이용하여 측정하였다.

맛을 보고 살의 쫄깃한 정도를 아는 관능적 탄력도 검사는 이스라엘 잉어와 틸라피아 두 어종에서 3종의 실험 사료에 대한 각 반복구에서 각각 1마리와 2마리씩 무작위로 선택하여 만들어진 회를 9개의 접시에 무작위로 배열하여 무작위로 선발된 성인 남녀 20명이 맛을 본 후 쫄깃한 정도를 상, 중, 하 3단계로 선호도를 분류하여 각 선호도 별로 3개씩 선택하도록 하고 실험구별로 선택된 횟수를 모두 취합하여 선택 비율로 나타내었다.

Table 2. Conditions employed for breaking strength profile measurement of Israeli strain of common carp and Nile tilapia

Instrument	Instron Model 1011, USA
Sample thickness	10 mm
Cylindrical plunger	8 mm in diameter
Crosshead speed	1 mm/sec
Load cell	2,000 g
Chart speed	10 mm/min

Employed conditions were established according to Ando et al. (1991).

6. 근육 색과 체색 측정

근육색 측정은 이스라엘 잉어와 틸라피아에 대해 실시하였으며, 포를 뜬 상태의 근육을 9개의 접시로 무작위 배열하여 무작위로 선발된 성인 남녀 20명이 각 표본을 관찰한 후 근육의 붉은 정도를 상, 중, 하 3단계로 분류하여 각 선호도별로 각각 3개씩 선택하도록 하였다. 실험구 별로 선택된 횟수를 모두 취합하여 선택 비율로 나타내었다.

체색의 측정은 3종의 실험 사료에 대한 9개의 실험구에서 어종별로 무작위로 각각 2마리씩 잡아내어 9개의 유리 수조(약 22 l)에 무작위로 배열하여, 관찰자의 선입관이 배제된 상태에서 체색을 관찰한 후, 비단잉어의 경우에는 붉은 정도를, 향어는 체색을 황색, 갈색 및 그 중간 색상의 3등급으로 그리고 틸라피아는 지느러미의 붉은 정도와 비늘의 무늬 등의 선명한 정도를 나누어 근육색 측정과 같은 방법으로 선택 비율로 나타내었다.

7. 통계 분석

실험어의 평균 체중이나 일반 분석값 등은 시판 사료에 대한 효모 사료의 분석 값을 Student t-test 로 비교하였고, 전체 성장 결과를 ANOVA 분석 후 Tukey's test 로 평균을 비교 검정하였다 ($P < 0.05$).

이스라엘 잉어와 틸라피아의 근육의 탄력도, 근육색과 체색 그리고 비단잉어의 체색등의 관능적 측정 실험 결과는 사료(phaffia 효모, 맥주 효모 및 시판 사료), 선호도(상, 중, 하)와 3개의 반복구를 3가지 범주형 변수로 취급하여 3차원

분할표(three-dimensional contingency table)를 위한 대수선형모형(log-linear model) 분석을 행한 다음, 2차원 분할표(two-dimensional contingency table)를 이용하여 독립성 검정(test of independence)을 하였다($P < 0.05$).

결 과

1. 성장

Phaffia 효모를 비롯한 3 종의 실험 사료에 대하여 이스라엘 잉어와 비단잉어, 그리고 틸라피아의 성장을 비교한 결과(Table 3) 평균 증육량은 이스라엘 잉어(209.6~227.6 g), 비단잉어(43.2~59.2 g), 틸라피아(93.0~103.1 g)에서 모두 사료별 통계적 유의차가 나타나지 않았다($P > 0.05$).

실험 기간 동안의 일일 성장률도 이스라엘 잉어(0.41%~0.44%), 비단잉어(0.60%~0.79%) 및 틸라피아(0.59%~0.66%) 모두 사료 공급구별 통계적 유의차가 없었다($P > 0.05$). 실험 기간 동안의 사료계수를 phaffia 효모 사료, 맥주 효모 사료 그리고 시판 사료 공급구별로 비교하면, 이스라엘 잉어의 경우 각각 2.10, 2.21, 그리고 2.13으로 유의적인 차이가 없었으며($P > 0.05$), 비단잉어의 경우도 각각 2.10, 2.34 및 1.51로 나타났으나 통계적 유의차는 나타나지 않았다($P > 0.05$). 틸라피아의 경우도 사료계수는 각각 1.54, 1.36 그리고 1.38로 유의적인 차는 없었다($P > 0.05$).

전 실험 기간 중의 생존율은 이스라엘 잉어의 경우 시판 사료구에서, 틸라피아의 경우 맥주 효

Table 3. Results of 72 days feeding trials of Israeli strain of common carp, colored carp and Nile tilapia fed three experimental diets, phaffia yeast diet, brewers yeast diet, and commercial diet

Division	Israel strain common carp			Nile tilapia			Colored carp		
	Phaffia	Brewers	Commercial	Phaffia	Brewers	Commercial	Phaffia	Brewers	Commercial
Initial total wt. (g)	3300	3302	3298.7	2812.7	2804	2804.7	425.3	427	426.7
Av. wt. (g)	660	660.4	659.7	187.5	186.9	187	85.1	85.4	85.3
Final total wt. (g)	4427.3	4350	4436.7	4207.3	4223.3	4351.3	641.3	645	722.7
Av. Wt. (g)	885.5	870	887.3	280.5	281.6	290.1	128.3	129	144.5
Mean weight gain (g)	225.5 ^a	209.6 ^a	227.6 ^a	93.0 ^a	94.7 ^d	103.1 ^a	43.2 ^g	43.6 ^g	59.2 ^g
Feed conversion ratio	2.10 ^b	2.21 ^b	2.13 ^b	1.54 ^e	1.36 ^e	1.38 ^e	2.10 ^h	2.34 ^h	1.51 ^h
Dairy growth rate (%)	0.44 ^c	0.41 ^c	0.44 ^c	0.59 ^f	0.62 ^f	0.66 ^f	0.61 ⁱ	0.60 ^j	0.79 ⁱ
Survival (%)	100	100	93.3	100	97.8	97.8	100	100	100

* Values in the rows of each species followed by the same letter are not significantly different (P>0.05) ; n=3.

Table 4. Proximate composition and pigment content of muscle of Israeli strain of common carp, colored carp and Nile tilapia before and after feeding the test diets

Species	Experimental diets	DM				Pigment content (µg/g)
		Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Crude ash (%)	
Israeli strain of common carp	Initial	75.7 ^a	80.7 ^b	10.7 ^c	6.6 ^d	4.9
	Phaffia yeast	76.4 ^a	78.0 ^b	13.1 ^c	5.1 ^d	8.9
	Brewers yeast	76.0 ^a	77.5 ^b	15.0 ^c	5.4 ^d	6.7
	Commercial	72.9 ^a	74.9 ^b	16.6 ^c	7.7 ^d	—
Nile tilapia	Initial	72.9 ^a	74.9 ^b	16.6 ^c	7.7 ^d	—
	Phaffia yeast	71.8 ^a	75.2 ^b	17.7 ^c	7.5 ^d	—
	Brewers yeast	71.8 ^a	74.8 ^b	17.4 ^c	7.5 ^d	—
	Commercial	72.5 ^a	74.2 ^b	17.8 ^c	6.9 ^d	—
Colored carp	Initial	76.2 ^a	81.1 ^b	10.5 ^c	7.6 ^d	—
	Phaffia yeast	74.9 ^a	80.1 ^b	17.1 ^c	5.2 ^d	0.5
	Brewers yeast	74.9 ^a	77.7 ^b	12.7 ^c	8.4 ^d	—
	Commercial	73.5 ^a	74.7 ^b	18.5 ^c	4.9 ^d	—

Values in columns for each species followed by the same letter are not significantly different (P>0.05) ; n=2.

* Initial : Samples before experiment started.

모 사료와 시판 사료 공급구에서 각각 1마리씩 폐사하여 생존율은 93% 이상이었고, 비단잉어에서는 폐사가 전혀 없이 100% 생존하였다.

2. 근육의 일반 성분 분석 및 색소 분석

근육의 일반 성분 분석 결과 모든 사료 공급구에서 실험 시작 전과 종료 후의 근육의 일반 성분에서는 모두 차이가 없는 것으로 관찰되어 phaffia 효모를 공급하여도 근육의 일반 조성에

는 영향을 미치지 않는 것으로 관찰되었다(Table 4). 근육 일반 성분 중 단백질은 실험 초기 시료에 비해 실험 종료 시의 모든 사료 공급구의 시료에서 유사하거나 낮게 나타나는 경향을 보였고 지방의 함량은 초기 시료에 비하여 실험 종료시의 시료에서 높은 것으로 관찰되었다.

사료 종류에 따른 실험이 근육 내의 색소 함량의 변화는 이스라엘 잉어의 경우 실험 시작 시의 근육 내 색소의 함량이 4.9 µg/g에서 실험 종료

시에는 *phaffia* 효모 사료 공급구에서는 8.9 µg/g으로 증가하여 맥주 효모 사료와 시판 사료 공급구에 비해 현저하게 높게 관찰되었다. 맥주 효모 공급구에서는 6.7 µg/g으로 증가하였으나, 상품 사료 공급구에서는 4.2 µg/g으로 다소 감소하는 것으로 관찰되었다.

틸라피아는 실험 시작 전과 실험 종료 시의 시료 모두에서 색소가 검출되지 않았다. 비단잉어의 경우, 실험 시작 전에 근육 내의 색소가 검출되지 않았으나, 실험 종료 시에 *phaffia* 효모 사료 공급구에서만 0.5 µg/g이 검출되었다.

3. 근육 탄력도

이스라엘 잉어 근육의 기계적 탄력도는 *phaffia* 효모 사료, 맥주 효모 사료와 시판 사료 공급구에서 각각 1,240 g, 1,397 g과 1,120 g으로 나타났으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다(P>0.05)(Table 5). 틸라피아 근육의 기계적 탄력도는 *phaffia* 효모 사료, 맥주 효모 사료와 시판 사료 공급구에서 각각 1675 g, 1319 g과 1702 g으로 나타났지만 통계적 유의차는 나타나지 않았다(P>0.05)(Table 5).

직접 씹어 보아서 측정한 관능적 탄력도(Table 5)는 이스라엘 잉어의 경우 *phaffia* 효모 사료 공급구에서 가장 탄력이 있다는 것이 관찰자 중 14%, 시판 사료와 맥주 효모 사료 공급구가 각각

13%와 12%로 나타났다.

대수선형모형분석과 독립성 검정을 행한 결과 사료의 종류와 선호도 사이의 교호작용이 유의한 것으로 나타났다(각각 P=0.0296과 P=0.021). 사료와 선호도의 교호성에서 맥주 효모 사료 공급구에서는 3rd의 선호도가 높게 나타났으며, 시판 사료 공급구에서는 2nd의 선호도가 높게 나타났으나, *phaffia* 효모 사료 공급구에서는 모든 선호도에서 큰 차이를 나타내지 않았다.

틸라피아의 경우는 근육의 탄력이 가장 좋다는 것이 시판 사료 공급구로서 21%가 선택되었고 그 다음이 맥주 효모 사료 공급구로 18%였으며 *phaffia* 효모 사료 공급구는 가장 낮은 기호도를 나타내어 13%가 선택되었다. 대수선형모형분석과 독립성 검정 모두에서 사료의 종류와 선호도 사이의 교호작용은 유의 수준 5%에서 유의하지 않았으나(각각 P=0.0635, P=0.057), 10%에서는 유의하였다. 사료와 선호도의 교호성에서는 시판 사료 공급구에서 1st의 선호도가 높게 나타났고, *phaffia* 효모 사료 공급구에서는 3rd 선호도가 높게 나타났다.

4. 근육 색과 채색

관능 테스트에 의한 이스라엘 잉어의 근육 색에서는 *phaffia* 효모 사료 공급구를 붉은 색이 가장 많다고 선택한 조사자가 24%로 가장 높

Table 5. The breaking strength (elasticity) and texture of muscle of Israeli strain of common carp and Nile tilapia fed the test diets

Diet ¹	Israeli strain of common carp			Nile tilapia		
	PD	BD	CD	PD	BD	CD
Elasticity ²	1240 ^a	1397 ^a	1120 ^a	1675 ^b	1319 ^b	1702 ^b
Texture ³						
1st	14	12	13	13	18	21
2nd	16	11	17	14	13	8
3rd	4	10	3	6	4	3

¹PD, *phaffia* yeast diet ; BD, brewers yeast diet ; CD, commercial diet.

²Elasticity (g) was estimated according to Ando et al. (1991) and values in the rows of each species followed by the same latter are not significantly different (P>0.05) ; n=3.

³Texture (%) divided three-degree (1st, best texture ; 2nd, good texture ; 3rd, average texture) was estimated through taste test and showed numbers in each diet group are the percentage of the noted frequency for all the test diet groups by 20 people.

Table 6. Reddish color scores of muscle of Israeli strain of common carp and Nile tilapia (%)

Reddish grade	Israeli strain of common carp			Nile tilapia		
	Phaffia	Brewers	Commercial	Phaffia	Brewers	Commercial
1st	24	1	2	8	20	14
2nd	8	18	15	11	10	10
3rd	—	15	17	14	4	9

Reddish color scores (%) divided three-grade (1st, distinct reddish color ; 2nd, reddish color ; 3rd, ordinary color) were estimated through visual test and showed numbers in each diet group are the percentage of the noted frequency for all the test diet groups by 20 people.

Table 7. Reddish color scores of skin of colored carp (%)

Reddish grade	Test diets		
	Phaffia	Brewers	Commercial
1st	15	2	6
2nd	14	12	16
3rd	4	20	11

Reddish color scores divided three-grade (1st, distinct reddish color ; 2nd, not distinct but reddish color ; 3rd, pale reddish color) were estimated through visual test and showed numbers in each diet group are the percentage of the noted frequency for all the test diet groups by 20 people.

았으며, 그 다음으로 시판 사료구와 맥주 효모구를 가장 붉다고 선택한 조사자는 각각 2%와 1%로 phaffia 효모 사료 공급구에 비하여 아주 낮았다 (Table 6). 대수선형모형분석과 독립성 검정에서 사료의 종류와 선호도 사이의 교호작용이 유의한 것으로 나타났다(각각 $P=0.000$, $P=0.000$). 사료와 선호도의 교호성에서는 phaffia 효모 사료 공급구에서 1st 의 선호도가 다른 사료구의 어떤 선호도 보다 매우 높게 나타났다.

틸라피아의 근육 색에서는 조사자 중 가장 붉은 색이 많다고 선택한 것이 맥주 효모 사료 공급구로 20%였으며, 시판 사료와 phaffia 효모 사료 공급구가 가장 붉다고 선택한 조사자가 각각 14%와 8%로 나타났다(Table 6). 대수선형모형 분석과 독립성 검정에서 사료의 종류와 선호도 사이의 교호작용이 유의한 것으로 나타났다(각각 $P=0.0093$, $P=0.000$). 사료와 선호도의 교호 성에서는 phaffia 효모 사료와 시판 사료 공급 구에서 각각 3rd와 1st 선호도 순으로 높게 나타났다.

비단잉어의 체색에 대한 붉은 색의 발현 정도를 조사한 관능 실험에서는 가장 많은 조사자가 pha-

ffia 효모 사료 공급구에서의 색이 선명하다고 선택하여 전체의 15%였으며, 그 다음이 시판 사료 공급구로 조사자의 6%가 그리고 맥주 효모 사료 공급구는 가장 낮아 2%의 조사자만이 가장 붉다고 하였다(Table 7). 대수선형모형분석과 독립성 검정에서 사료의 종류와 선호도 사이의 교호작용이 유의한 것으로 나타났으나(각각 $P=0.0001$, $P=0.000$), 대수선형모형분석 결과 선호도와 반복구 간의 교호작용도 유의한 것으로 나타나($P=0.0023$), 한 실험구에서 반복구에 따른 시각의 차이도 강하게 나타났다. 사료와 선호도의 교호성에서는 phaffia 효모 사료와 맥주 효모 사료 공급구에서 각각 1st와 3rd의 선호도 순으로 높게 나타났다. 이스라엘 잉어의 고유 체색에서 황색을 많이 띤 것과 보통 정도 그리고 갈색의 3등급으로 나누어 조사한 것에서는 전체적으로 차이가 없어 구분이 명확하지 않았으나 황색이 가장 많은 것으로 phaffia 효모 사료 공급구를 선택한 조사자가 11%, 시판 사료와 맥주 효모 사료 공급구를 선택한 조사자가 각각 13%와 12%로 나타났다 (Table 8). 대수선형모형분석과 독립성 검정에서 사료의 종류와 선호도 사이의 교호작용이 유의

Table 8. Yellowish and brownish color scores of skin of Israeli strain of common carp (%)

Color Division	Test diets		
	Phaffia	Brewers	Commercial
Yellow	11	12	13
Common	7	13	15
Brown	14	10	5

Color scores divided three-color (yellow ; common, ordinary color ; brown) were estimated through visual test and showed numbers in each diet group are the percentage of the noted frequency for all the test diet groups by 20 people.

Table 9. Distinctness of stripes and body color of Nile tilapia (%)

5 Distinct color grade	Test diets		
	Phaffia	Brewers	Commercial
1st	16	14	17
2nd	12	11	10
3rd	4	8	7

Distinct figure (color) scores divided three-grade (1st, distinct figure ; 2nd, ordinary figure ; 3rd, indistinct figure) were estimated through visual test and showed numbers in each diet group are the percentage of the noted frequency for all the test diet groups by 20 people.

한 것으로 나타났으나(각각 $P=0.0192$, $P=0.014$), 선호도와 반복구간의 교호작용도 유의한 것으로 나타나 한 실험구에서 반복구에 따른 시각의 차이도 강하게 나타났다. 사료와 선호도의 교호성에서 phaffia 효모 사료 공급구의 3rd와 시판 사료 공급구의 2nd 순으로 선호도가 높게 나타났으며, 시판 사료 공급구의 3rd와 맥주 효모 사료 공급구의 1st 순으로 선호도가 낮게 나타났다.

틸라피아 체색과 무늬의 선명한 정도를 3등급으로 나누어 조사한 결과(Table 9)는 시판 사료 공급구를 가장 선명하다고 선택한 것이 조사자의 17%로 가장 많았고 16%가 phaffia 효모 사료 공급구를 가장 선명하다고 선택하였으며 14%가 맥주 효모 사료 공급구가 가장 선명하다고 선택하였다. 대수선형모형분석과 독립성 검정 모두에서 사료의 종류와 선호도 사이의 교호작용은 유의수준 5%에서 유의하지 않아(각각 $P=0.6240$, $P=0.617$), 사료의 종류가 틸라피아의 체색에 미치는 영향에는 유의성이 없는 것으로 나타났다.

고 찰

반 정제된 사료에 phaffia 효모와 맥주 효모를

첨가한 사료로 사육한 이스라엘 잉어, 비단잉어 및 틸라피아의 성장은 대조구인 시판 사료를 먹인 것과 비교해서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 이같은 결과는 phaffia 효모를 카로티노이드 색소 대체원으로 연어과 어류에 먹였을 때 성장에는 영향을 주지 않았다는 Binkowski et al. (1993)의 보고와 동일한 결과를 보이고 있다. 따라서 phaffia 효모를 첨가한 반정제 사료나 맥주 효모를 섞은 반정제 사료가 실험 어류의 성장에는 아무런 장애 요인이 되지 않았다.

실험 기간동안의 일일성장률(DGR)은 이스라엘 잉어와 틸라피아의 경우 각각 0.4%, 0.6%~0.7%로서 김(1990)과 윤(1994)이 각각 보고한 0.5%와 0.65%와 유사하여 정상적인 성장을 한 것으로 나타났으나 전반적으로는 성장률이 낮았다. 비단잉어에서는 DGR 이 0.6%~0.8%로 나타나 김과 조(1975)가 보고한 소형 순환여과식 사육 장치에서의 비단잉어 사육 시의 일일성장률 1.06% 보다는 낮게 나타났다. 이것은 두 실험 사이에 사육 환경의 차이에 기인하는 것으로 사료되지만 이렇게 모든 어종에서 전반적으로 일일성장률이 낮아진 것은 실험 시기가 어류들이 생리적으로 월동에 들어가는 가을에서 겨울에

걸쳐 시행되어 전반적으로 생리 활성이 떨어진 때문으로 추정되고 이 외에도 시판 사료에 적응되었던 어류가 실험 초기에 반정제 사료에 잘 적응하지 못하였던 것도 한 원인으로 추정된다. 특히 본 실험에 쓰인 *phaffia* 효모에는 특유의 매운 냄새와 맛이 있었으며 실험 초기에 실험어가 *phaffia* 효모 사료에 잘 적응하지 못하는 현상으로 입속에서 사료를 우물거리다 뱉어 내는 행동이 관찰되었다. Gentles and Haard (1991)는 무지개송어에 대한 착색 실험으로 *phaffia* 효모에서 추출한 색소를 사료에 첨가하여 공급한 실험구의 성장은 다른 실험구에 비하여 유의적으로 낮게 나타났는데 이것은 사료의 맛 때문으로 추정하였다. 또한 반정제 사료의 원료 특성으로 인해 시판 상품 사료에 비해 비교적 단단하여 실험어가 입속에서 물고 우물거리는 시간이 길어져 섭취에 시간이 많이 걸리고 사육수가 자주 흐려지는 것이 관찰되었다. 특히 이같은 현상이 비단잉어에서 현저하게 나타났다.

그러나, Binkowski et al. (1993)은 *phaffia* 효모가 사료의 맛에는 영향을 미치지 않았다고 밝히고 있고, Harris (1984)는 대서양 연어의 사료에 합성 astaxanthin과 canthaxanthin을 첨가시켰을 때 초기 먹이 불임 시기의 자어의 성장률이 증진되었다고 보고하는 등 위의 결과와 상반되는 결과도 있다. 이와 같은 차이는 어종에 따라 *phaffia* 효모의 섭취율이나 맛에 대한 반응이 차이가 있을 수 있고 실험 환경의 차이에서 연유하는 것으로 사료된다.

실험 기간 동안 전체 실험구에서 3마리의 폐사가 발생하였는데 이스라엘 잉어의 경우, 실험 어를 수용한 후 호흡의 감염이 확인되어, 즉시 전 실험구에 DDVP 0.5 ppm을 3차례 투약하여 구제하였으며, 이 과정에서 약해진 개체 한 마리가 폐사한 것으로 추정된다. 틸라피아는 체중 측정 과정의 스트레스와 틸라피아의 공격 습성에 의하여 생길 외부 상처로 맥주 효모와 시판 상품 사료를 공급하는 실험구의 틸라피아가 각각 1마리씩 폐사하였다. 폐사어는 즉시 동일 사료 공

급구의 유사한 체중의 예비 개체로 교체하여 수용 밀도나 사육 조건 등에서 차이가 없었으며 폐사로 인하여 실험 결과에 미치는 영향은 거의 인지되지 않았다. *Phaffia* 효모나 맥주 효모 등이 근육의 일반 성분미치는 영향은 실험 시작 전의 어체에 일반 성분이 사육 후의 어체에 비하여 현저한 차이가 없고 실험 사료 공급구 간에도 유의적인 차이가 없는 것으로 보아 이들 효모가 근육의 일반 조성에는 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 추정된다.

활어의 회 맛은 근육 속의 아미노산 등의 물질에 의한 맛과 회를 씹을 경우 탄력도에 의해 나오는 맛의 차이로 나타난다. 본 실험에서 *phaffia* 효모가 어체의 탄력도와 맛에 영향을 주는지를 알아보기 위해 어체의 근육을 기계적인 측정 방법과 관능적인 측정 방법으로 실험한 결과 이스라엘 잉어와 틸라피아의 경우 기계적인 탄력도에서 다른 사료 공급구와 유의적인 차이가 나타나지 않았으며($P>0.05$), 또한 관능적 탄력도 실험에서도 *phaffia* 효모 공급구가 다른 사료 공급구에 비해 유의성이 없는 것으로 나타나, 본 실험의 어체의 일반 성분 분석에서처럼 *phaffia* 효모의 공급에 의한 근육내 아미노산 조성이나 일반 성분의 변화에는 영향을 미치지 않는 것으로 추정된다. 그러나, Craik (1985)는 무지개송어 자어의 체내에서 사료내의 β -carotene 색소가 vitamin A로 전환될 수 있음을 고찰하였다.

72일간의 효모 정제 사료와 시판 사료 공급구에서의 근육의 착색 측정 실험 결과, 이스라엘 잉어의 경우 관능적 측정 실험에서 *phaffia* 효모 공급구가 선호도 '상'에서 전체 선호도의 24% (1st 선호도의 89%)로 매우 높게 나타나 이스라엘 잉어의 근육 착색에 *phaffia* 효모 첨가 사료의 효과가 뚜렷한 것으로 나타났는데 이것은 색소 분석에서 근육의 색소 함유량이 실험 시작 시에 4.9 $\mu\text{g/g}$ 에서 실험 종료 시에 8.9 $\mu\text{g/g}$ 으로 나타나 다른 사료 공급구에 비해 뛰어난 효과가 있었던 것과 일치한다. 맥주 효모구에서는 실험 종료 시에 6.7 $\mu\text{g/g}$ 으로 다소 증가하였으나, 시판

사료구에서는 색소가 4.2 $\mu\text{g/g}$ 으로 실험 시작시보다 오히려 감소되었다. 틸라피아의 경우에는 관능적 측정 실험에서 phaffia 효모 첨가 사료가 틸라피아의 근육 착색에 효과가 없는 것으로 나타났으며, 이것은 근육내 색소 함량 분석에서도 일치하여 실험 시작 시와 실험 종료시 모두 근육내 색소 함량은 없는 것으로 나타났다. 틸라피아의 착색 실험을 한 Matsuno and Katsuyama (1979 ; 1980 ; 1982)는 3종의 틸라피아(*Tilapia nilotica*, *Tilapia mossambica* and red tilapia) 표피의 색소 분석 결과 카로티노이드 색소 유형은 매우 유사하였으나 성장 단계에 따라 각 개체의 조성 비율이 달라진다고 밝혔다. 또한 Matsuno and Katsuyama (1982)는 30일 간 *Tilapia nilotica*에게 zeaxanthin을 공급하였을 때, 체내에서 rhodoxanthin으로 대사가 일어났으며 zeaxanthin을 전혀 공급하지 않은 대조구에 비해 rhodoxanthin 이 4배로 축적이 일어났다고 보고하였고, Matsuno et al. (1980)은 rhodoxanthin을 주 carotenoid 색소로 가지는 spirulina를 red tilapia 에게 공급했을 때, 대조구에 비해 8배의 rhodoxanthin의 축적이 일어났다고 밝혔다. 그러나, 본 연구에서는 tilapia 체내에서 주 carotenoid 색소인 tunaxanthin A, lutein, zeaxanthin과 rhodoxanthin에 비해 상대적으로 매우 적게 요구되는 astaxanthin이 주 carotenoid 색소인 phaffia 효모를 공급함으로써 tilapia가 소화, 흡수를 잘시키지 못한 것으로 추정된다. 이러한 carotenoid 색소의 소화, 흡수의 선택성은 어종에 따라 달라 Binkowski et al. (1993)은 연어과 어류의 붉은 살색은 대부분 carotenoid 색소의 astaxanthin에서 유래한다고 밝혔으며, Arai et al. (1987)은 남극해의 크릴에서 추출한 carotenoid 기름을 은연어(*Oncorhynchus kisutch*)에게 공급하였을 때, 착색된 색소의 93%가 astaxanthin, 4~5%가 all-trans와 9-cis이고 2~3%가 13-cis-astaxanthin 이었다고 보고하였다.

비단잉어의 경우 관능적 측정 실험 결과 phaf-

fia 효모 공급구가 선호도 '상'에서 전체 선호도의 15% (1st 선호도의 65%)로 매우 높게 나타나 비단잉어의 근육 착색에 phaffia 효모 첨가 사료의 효과가 뚜렷한 것으로 나타났으며, 색소 분석에서도 실험 시작시 색소 함량이 없던 것이 실험 종료 시에 0.5 $\mu\text{g/g}$ 으로 증가한 것과 일치하고 있다. 본 실험에서의 이스라엘 잉어와 비단잉어의 근육내 색소 함량의 차이는 어체 크기에 의한 것으로 추정된다. Deufel (1965)은 어체의 크기가 착색의 제한 요인으로 작용한다고 밝혔으며, Arai et al. (1987)은 은연어(*Oncorhynchus kisutch*)의 경우 약 80 g보다 큰 약 180 g 어체에서 현저한 착색 효과가 나타났다고 보고하였고, Storebakken et al. (1985)은 작은 크기의 연어보다는 1.2 Kg 이상의 크기에서 착색이 더욱 잘 일어난다고 보고하였다. 또한 Gentle and Harrd (1991)은 시장 판매를 앞둔 무지개송어 성어에게 카로티노이드 색소를 공급했을 때 뛰어난 착색 효과가 났다고 보고하였다. 그러나, Crozier (1970)는 성성숙이 연어과 어류의 착색율을 감소시킨다고 밝혔다. 비단잉어는 실험 3주째부터 붉은 체색이 다른 실험구 보다 뚜렷해지기 시작하여, 실험 시작 4주째에는 구분이 가능하였고, 실험 종료시인 72일째에는 현저한 색상의 차이를 나타내는 것이 관찰되었다. 이것은 Gentle and Harrd (1991) 이 상품 크기의 무지개 송어에게 4주간 사료에 15%의 phaffia 효모를 첨가시킨 사료를 공급하여 뛰어난 착색 효과가 있다는 것과 또한 Arai et al. (1987), Binkowski et al. (1993) 및 Johnson et al. (1980)이 밝힌 주 carotenoid 색소인 astaxanthin diester (3R-3'R)는 대부분의 어류에서 4~8주 동안 근육내에서 착색이 일어난다는 결과와 유사하였다.

이스라엘 잉어와 틸라피아의 체색의 발현 정도는 이스라엘 잉어의 경우 phaffia 효모 공급구에서 몸 전체에 열은 황색이 관찰되었고, 특히 복부 쪽의 옅은 붉은 색상은 다른 실험구와 뚜렷이 차이가 나타났으며 시판 사료구나 맥주 효모구의 어체와는 완전히 구분할 수 있었다. 틸라피아의

경우 체색에 나타나는 무늬나 붉은 색의 선명도 조사에서는 시판 사료를 먹인 것이 가장 체색이 붉게 나타났다고 하였고 그 다음이 phaffia 효모구 및 맥주 효모구로 나타나 근육 색의 착색에서처럼 phaffia 효모를 소화, 흡수시키지 못하는 것으로 추정된다. 이것은 배설물 관찰에서도 나타나 실험 기간 중 phaffia 효모와 맥주 효모 등 정제 사료를 공급하는 틸라피아 실험구에서는 유리 수조 중앙의 배수구에 모이는 배설물이 형태를 이루지 못하고 흩어지는 경우가 많았으며, phaffia 효모 공급구에서는 배설물이 붉은 색상을 많이 유지한 상태였다. 이것에 반해 시판 상품 사료구에서는 대부분 배설물이 전형적인 펠렛 모양의 일정한 형태를 유지하였고, 색상은 어두운 색조로 변색 되어진 상태로 관찰되어 틸라피아가 사료 중의 phaffia 효모를 소화, 흡수하지 못한 것으로 추정된다. 이와 유사하게 Choubert et al. (1983)은 새우 가루를 카로티노이드 색소원으로 무지개 송어에게 공급했을 때 섭취된 색소의 90% 정도가 배설물에서 발견되었는데 이는 무지개송어가 색소원을 잘 소화시키지 못하기 때문이라고 밝혔다. 본 실험에 이용한 phaffia 효모는 동결 건조 분말 형태로서 사료 제조 과정 중에 60°C를 넘는 고온과 고압은 없어 대부분의 phaffia 효모 세포벽은 파괴되지 않았을 것으로 추정되며 이것이 효모의 소화 흡수에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. Johnson et al. (1980)은 phaffia 효모를 무지개 송어에게 공급하기 전에 세포벽이 효소 처리로써 부분적으로 제거될 때 astaxanthin의 침착이 가장 효율적으로 일어난다고 밝혔다. 또한 Binkowski et al. (1993)은 phaffia 효모를 가공한 경우에는 가공하지 않은 것보다 맛과 소화율에서 더 나은 효과를 얻을 수 있었으며 가공하지 않은 경우는 대조구와 함께 착색에 대한 별다른 차이가 없어, 효모를 물리적이거나 화학적인 처리 등의 가공 과정을 거치면 소화 흡수율이 증가됨을 보고하고 있다. 그리고 Torrissen et al. (1981/1982)은 착색원으로 공급할 새우 가공 부산물을 산 저장 방법으로 astaxanthin의 dies-

ter를 monoester 형태로 바꾸어 공급하므로써 신선한 것이나 말린 새우 부산물을 그대로 공급하는 것 보다 소화율을 약 45%에서 71% 정도로 향상시킬 수 있음을 밝혔다. 따라서 본 실험에 사용된 phaffia 효모는 어류의 소화 및 생리적 측면을 고려하여 세포벽을 물리적 또는 화학적 처리로써 제거하면 색소의 침착은 더욱 향상될 것으로 추정되므로 이러한 처리에 따른 효율과 경제성이 아울러 검토되어야 할 것이다.

요 약

천연 astaxanthin 색소를 다량 함유한 phaffia 효모를 양식 어류에게 공급하였을 때, 이 색소가 어류의 성장과 소화, 흡수되는 정도를 조사하기 위하여 이스라엘 잉어(650±20 g), 비단잉어(80±10 g) 및 나일틸라피아(200±20 g)의 사료에 phaffia 효모를 10% 첨가하여 10주간 공급한 다음 성장률, 체조성, 근육의 탄력도 및 근육 색과 체색 등의 변화를 측정하였다. Phaffia 효모 첨가 사료에 대한 효모 대조구로서 10%의 맥주 효모 첨가 사료구를, 그리고 이들 두가지 반정제 효모 사료에 대한 성장 대조구로서 시판 상품 사료구를 설정하여 10주간 사육한 결과 이스라엘 잉어, 비단잉어 및 틸라피아의 성장에는 모든 사료 공급구에서 유의적인 차이가 없었다(P>0.05). 이들 실험어의 근육 내의 일반 성분은 실험 후에도 현저한 차이가 나타나지 않아(P>0.05), phaffia 효모나 맥주 효모 사료가 체성분 조성에는 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한 횡감으로 이용되는 어종인 이스라엘 잉어와 틸라피아의 근육에 쫄깃한 정도를 나타내는 기계적 탄력도와 관능적 탄력도를 측정한 결과 모두 유의적인 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 실험어의 근육에 phaffia 효모에서 유래되는 붉은 색소의 침착은 이스라엘 잉어와 비단잉어 실험구에서는 근육내의 색소 분석과 관능적 측정 실험 모두에서 현저하게 높게 나타났지만(P<0.05), 틸라피아에서는 색소 분석과 관능적 측정 실험 모두에서 유의적인 차

이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

참 고 문 헌

- Ando, M., H. Toyohara, Y. Shimizu and M. Sakaguchi, 1991. Post-mortem tenderization of fish muscle proceeds independently of resolution of rigor mortis. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57 : 1165-1169.
- AOAC. 1984. Official methods of analysis of the association of official analytical chemicals, 14th edition. Arlington. AV. 1141pp.
- Arai, S., T. Morri, W. Miki, K. Yamaguchi, S. Konosu, M. Satake and T. Fujita, 1987. Pigmentation of juvenile coho salmon with carotenoid oil extracted from antarctic krill. *Aquaculture*, 66 : 255-264.
- Binkowski, F. P., J. J. Sedmak and S. O. Jolly, 1993. An evaluation of *Phaffia* yeast as a pigment source for Salmonids. *Aquacult. Mag. March/April*. Choubert, G., Jr. and P. Luquet, 1983. Utilization of shrimp meal for rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) pigmentation. Influence of fat content of the diet. *Aquaculture*, 32 : 19-26.
- Craik, J. C. A., 1985. Egg quality and egg pigment content in salmonid fishes. *Aquaculture*, 47 : 61-88.
- Crozier, G. F., 1970. Tissue carotenoids in prespawning and spawning sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 27 : 973-975.
- Deufel, J., 1965. Pigmentierungsversuche mit Canthaxanthin bei Regenbogenforellen. *Arch. Fischereiwiss*, 16 : 125-132.
- Gentles, A. and N. F. Haard, 1991. Pigmentation of rainbow trout with enzyme-treated and spray-dried *Phaffia rhodozyma*. *The Prog. Fish-Cult.* 53 : 1-6.
- Harris, L. E., 1984. Effects of a broodfish diet fortified with canthaxanthin on female fecundity and egg color. *Aquaculture*, 43 : 179-183.
- Hata, M. and M. Hata, 1973. Studies on astaxanthin formation in some fresh-water fishes. *Tohoku J. Agric. Res.*, 24 : 192-196.
- Johnson, E. A., D. E. Conklin and M. J. Lewis, 1977. The yeast *Phaffia rhodozyma* as a dietary pigment source for Salmonids and crustaceans. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 34 : 2417-2421.
- Johnson, E. A., and M. J. Lewis. 1979. Astaxanthin formation by the yeast *Phaffia rhodozyma*. *J. Gen. Microbiol.*, 115 : 173-183.
- Johnson, E. A., T. G. Villa. and M. J. Lewis, 1980. *Phaffia rhodozyma* as an astaxanthin source in Salmonid diets. *Aquaculture*, 20 : 123-134.
- Matsuno, T. and M. Katsuyama, 1979. Comparative biochemical studies of carotenoids in fishes-XIV, Carotenoids of tilapia-I. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 45 : 1533-1538.
- Matsuno, T., M. Katsuyama, M. Iwahashi, T. Koike and M. Okada, 1980. Intensification of color of red tilapia with lutein, rhodoxanthin and spirulina. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46 : 479-482.
- Matsuno, T., M. Katsuyama, 1982. Metabolism of zeaxanthin to rhodoxanthin in Tilapia, *Tilapia nilotica*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48 : 1491-1493.
- Steven, D. M., 1984. Studies on animal carotenoids. I. Carotenoids of the brown trout (*Salmo trutta* Linn.). *J. Exp. Biol.*, 25 : 369-387.
- Storebakken, T., P. Foss, E. Austreng and s. Liaaen-Jensen, 1985. Carotenoids in diets for salmonids. II. Epimerization studies with astaxanthin in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 44 : 259-269.
- Torrissen, O. J., 1989. Pigmentation of salmonids : Interaction of astaxanthin and canthaxanthin on pigment deposition in rainbow trout. *Aquaculture*, 79 : 363-374.
- Torrissen, O. J., E. Tidemann, F. Hansen, J. Raa, 1981/1982. Ensiling in acid-A method to stabilize astaxanthin in shrimp processing by-products and improve uptake of this pigment by rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 26 : 77-83.
- Torrissen, O. J., 1984. Pigmentation of salmonids-effect of carotenoids in eggs and start-feeding diet on survival and growth rate. *Aquaculture*, 43 : 185-193.
- Torrissen, O. J., 1985. Pigmentation of salmonids : factors affecting carotenoid deposition in rainbow trout (*Salmo gairdneri*).

- Aquaculture, 46 : 133-142.**
김영미, 1990. 대두박 단백질 이용 잉어 사료에의 최적 인산염 첨가량의 결정을 위한 실험 연구. 부산수산대학교 석사학위 청구 논문. pp. 22.
- 김인배, 조재윤, 1975. 잉어 삼품종의 성장 비교. **Bull. Korean Fish. Soc., 8 : 222-224.**
윤길하, 1994. 순환 여과식 사육장치에서 androgen 홀몬을 처리한 틸라피아, *Oreochromis niloticus*의 고밀도 사육 및 경제성 검토. 부산수산대학교 석사학 위 청구 논문. pp. 42.