

저수온기 넙치 치어에 있어서 스피룰리나와 아스타잔틴의 사료 내 첨가효과

김성삼, German Bueno Galaz, 이경준*, 이영돈¹
제주대학교 해양과학대학 해양과학부, ¹제주대학교 해양과환경연구소

Effects of Dietary Supplementation of *Spirulina* and Astaxanthin for Juvenile Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* in Low Temperature Season

Sung-Sam Kim, German Bueno Galaz, Kyeong-Jun Lee* and Young-Don Lee¹
Faculty of Applied Marine Science, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea
¹Marine and Environmental Research Institute, Cheju National University, Jeju 695-814, Korea

This study was conducted to investigate the effects of dietary supplementation of *spirulina* (SPI) and asthaxanthin (AST) on growth performance and antioxidant activity in juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) in low temperature season. Total 180 fish (27.8±0.3 g, average weight ± S.D.) were randomly divided into 12 groups, and 3 groups were fed one of four isonitrogenous (52% CP) and isocaloric (18.3 MJ kg⁻¹) diets containing no SPI and AST, 0.5% SPI, 0.5% AST, and 0.5% each SPI and AST (designated by diets Control, SPI, AST and SPI+AST, respectively). After 6 weeks of feeding trial, the growth performance, feed utilization, whole body composition and survival of fish were not significantly affected by the experimental diets. There were no significant differences in hematocrit, hemoglobin, alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase of fish fed all the experimental diets. The DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) free radical scavenging assay indicated numerically increased antioxidant activity in liver of fish fed the SPI diet compared to that of fish fed the control diet, even though it was not significant. The present study shows that a low level (0.5%) of dietary supplementation of SPI and/or AST does not affect growth and feed utilization and intake of juvenile olive flounder in low temperature season.

Keywords: Olive flounder, Astaxanthin, *Spirulina*, DPPH assay

서 론

국내에서 완전양식이 이루어지고 있는 넙치는 고밀도 양식으로 인한 여러 질병의 발생으로 경제적 손실을 비롯한 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 최근 양식어류의 건강증진 및 성장촉진을 위한 천연물질 또는 미생물첨가제의 개발로 양식산업의 기능적 브랜드화가 시도되고 있는 실정이다. 양어사료에 한약재(김 등, 1998), 파래(김 등, 1996), 구기자, 인삼, 오미자 등의 식물성 생약제의 열수추출물(김, 1999), 키토산올리고당(이 등, 2000), 알로에(김 등, 2000), 감귤발효액(송 등, 2002), 표고버섯(송 등, 2003) 등 사료효율 향상과 어류의 건강증진에 기여할 가능성이 높은 물질들이 연구되었다.

아스타잔틴(Astaxanthin)은 게, 가재 껍질로부터 추출되는 카로티노이드계 색소의 일종으로 자연계 특히 해수환경에 널리 분

포되어 있고 돌류, 연어, 송어, 새우 및 가재 등의 체색을 붉은 색으로 발현시키는 물질로 잘 알려져 있다(Chien and Jeng, 1992; Mensaveta et al., 1993; Negre-Sadargues et al., 1993; Liao and Chien, 1994; Okada et al., 1994). 또한 아스타잔틴은 불안정 산소를 안정화하거나 활성산소(oxygen free radical)를 제거하는 기능이 매우 좋다는 연구결과가 최근 들어 보고되고 있다(Goto et al., 2001; Mortensen et al., 2001; Pan et al., 2003; Winston et al., 2004).

스피룰리나(*Spirulina*)는 담수미세조류로 Cyanophyceae강, Nostocales목에 속하며 단백질 함유량이 60%이상, 카로틴 함량 100-200mg/100g, 식물성 지방산 8% 이상, 비타민류, 핵산, 피코시아닌 등 생명유지에 필요한 영양소와 높은 소화율로 그 이용성이 매우 높은 기능성 단백질원이라 할 수 있다(Santillan, 1979; Richmond, 1988). 따라서 가축, 어류 및 연체동물의 사료에 첨가되는 것이 신중하게 고려되었다(EI-Sayed, 1994; Mustafa et al., 1994; Lee et al., 1996; Grinstead et al., 2000; Nandeesh

*Corresponding author: kjlee@cheju.ac.kr

et al., 2001; Palmegiano et al., 2005). 최근에는 건강보조식품 및 여러 형태의 식품첨가물로 이용하기 위해 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한 항바이러스, 항암성, 항산화활성, 항균성, 구충제 및 알레르기, 케양, 빈혈 등에 대해서 폭넓게 연구되기 시작하였다(Hernandez-Corona et al., 2002; Wang et al., 2005; Zhou et al., 2005). 스피롤리나에 포함된 성분 중 카로틴과 핵산은 아스타잔틴과 마찬가지로 활성산소를 저해시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Zhou et al., 2005). 어류를 대상으로 한 스피롤리나 첨가실험은 극히 몇몇 어종(틸라피아, 잉어, 철갑상어, 돌돔)을 대상으로 연구되었을 뿐 (Chow and Woo, 1990; Nandeesh et al., 2001; Takeuchi et al., 2002; Palmegiano et al., 2005; El-Sayed, 1994) 매우 드물다고 할 수 있다. 또한 스피롤리나에는 여러 종(species)의 종류(*Spirulina maxima*, *Spirulina platensis*, *Spirulina pacifica*)가 있으며 어류에 있어서의 효과는 스피롤리나의 종에 따라 다를 수 있다고 보고되었다(Nandeesh et al., 1998).

이러한 스피롤리나와 아스타잔틴의 효능은 기능성 사료첨가제로써 양식어류의 건강증진과 성장에 효과적으로 작용할 것으로 예측되지만, 양식 넙치에 있어서는 그 연구가 전무하다고 할 수 있다. 국내 양어장에서의 어류양식시 발생하는 문제점 중 하나는 겨울철 저수온기에 낮은 사료섭취율로 인해 양식어류의 성장저해 및 어병저항력이 감소될 수 있다는 것이다(Brett and Higgs, 1970; Kim et al., 2005). 따라서 본 연구는 기초연구로써 겨울철 저수온기의 치어기 넙치를 대상으로 사료 내 스피롤리나와 아스타잔틴을 첨가 공급하였을 때의 성장효과, 생존율 및 기능성(항산화효과)을 조사하고자 실시되었다.

재료 및 방법

실험사료

총 4개의 실험사료는 52%의 조단백질과 18.3 MJ/kg의 총에너지 함량을 갖도록 동일하게 조성되었으며, 기초사료 조성표는 Table 1에 나타내었다. 총 4개의 실험사료는 기초사료를 이용한 대조구와 기초사료에 아스타잔틴을 0.5% 첨가한 AST사료, 스피롤리나를 0.5% 첨가한 SPI사료, 그리고 아스타잔틴과 스피롤리나를 각각 0.5%씩 혼합하여 첨가한 AST+SPI사료를 기초사료에 아스타잔틴과 스피롤리나가 첨가되는 양 만큼 셀룰로스 첨가량을 조절하여 제조되었다. 실험에 사용된 스피롤리나, *Spirulina pacifica*와 Astaxanthin은 Cyanotech Ltd. (Kailua-Kona, Hawaii, USA)에서 제공되었다. 실험사료 제조는 우선 모든 사료원들을 파쇄기를 이용하여 분말형태로 일정하게 만든 후 각 사료원들을 사료조성표에 따라 정확히 무게를 잰 후, 잘 섞은 다음 사료원 총량의 30~40%에 해당하는 증류수를 첨가하여 사료혼합기(NVM-14-2P, KOREA)로 혼합, 반죽시켰다. 혼합반죽물은 소형초과기(SMC-12, KOREA)를 이용하여 직경 3 mm 크기로 성형하였다. -40°C 동결냉동건조기에서 건조시켜, 시브

Table 1. Composition of the basal diet (dry weight)

Ingredients	%
White fish meal	54
Corn gluten meal	7
Wheat flour	25
Yeast	2
Vitamin mixture ¹	2
Mineral mixture ²	0.5
Choline chloride	0.2
Squid liver oil	7.3
Carboxymethylcellulose	1
Cellulose	1

¹Vitamin premix (g/kg of mixture): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacinm 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

²Mineral mixture (g/kg of mixture): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

(Sieve)를 이용하여 적당한 크기의 사료로 가공하여, 사료 공급 전까지 -20°C 냉동고에 보관하였다.

실험어 및 사육관리

본 실험에 사용된 넙치 치어는 제주도내 종묘배양장에서 제주대학교 소속 해양과환경연구소로 수송 되었으며, 실험환경에 적응할 수 있도록 4주 동안 실험환경에 적응을 시키면서 적응 기간 동안에는 시판 배합사료를 공급 하였다. 예비사육 후 넙치치어(초기 평균무게: 27.8 g)는 총 12개의 100 L 원형수조에 각 수조당 15 마리씩 무작위로 배치되었다. 사료공급실험은 실험구당 3반복구를 두었으며, 사육수는 여과해수를 사용하여 1~2 L/min의 유수량이 공급되도록 조절하였고, 모든 실험수조에 용존산소 유지와 원활한 사육수 순환을 위하여 에어스톤을 설치 하였다. 겨울철 저수온기 수온은 실험기간 동안 12°C에서 17°C 범위로 자연수온에 의존하였다. 실험사료는 1일 2회 (오전 09:00 h와 오후 16:00 h) 반복공급 하였다. 사료공급실험은 총 6주간 수행되었다.

어체측정 및 혈액분석

어류의 성장률 측정을 위하여 매 2주마다 전체 어류의 무게를 측정하였으며, 6주간의 사료공급 실험 후, 어류의 최종 평균 무게를 측정하여 증체율(Weight gain, WG), 사료섭취율(Feed intake, FI), 사료전환효율(Feed conversion ratio, FCR), 일간성장률(Specific growth rate, SGR) 및 단백질전환효율(Protein efficiency ratio, PER)을 계산하였다.

어체 무게를 측정한 실험어는 분석을 위해서 대뇌부를 가각하여 즉시 시킨 후 즉시 -70°C 초저온 냉동고에 보관하였다. 냉

동 보관된 실험어는 각 실험구에서 6마리씩 어류를 무작위로 선별한 후 각 어류에서 간을 적출하였다. 적출된 약 1g의 간은 항산화효과를 검증하기 위한 DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 저해활성 분석에 사용되었으며 분석과정은 다음과 같다.

먼저, 간을 막자사발을 이용하여 분쇄시킨 다음 희석 메탄올 용액에서 (methanol:water, 4:1, v:v) 균질기(CAT Homogenizer X120, Germany)로 1분 동안 균질화하였다. 균질화 된 혼합물을 1500 µl씩 eppendorf tube로 옮긴 후 원심 분리기로 4°C에서 5000 rpm 속도로 10분 동안 원심분리하여 상층액을 0.45 µm microfilter 주사기를 이용하여 여과 하였다. 여과된 샘플은 다시 eppendorf tube로 옮긴 후 DPPH용액(0.1 mM)과 샘플의 비율이 각각 950 µl : 50 µl 되도록 혼합된 후 분광광도계로 517 nm 파장에서 1분 간격으로 10분 동안 측정 되었다. 측정된 값은 다음식을 통하여 계산되었다(Sandoval et al., 2002).

Percent Inhibition = [(Ao-As)/Ao]×100(Ao: 처음흡광도, As: 시간에 따른 517 nm에서의 흡광도)

전어체의 일반성분 분석은 AOAC (1995) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법(125°C, 3 h), 조회분은 직접회화법(550°C, 12 h)으로 측정하였고, 단백질은 자동 조단백분석기(Kejltec system 2300, Sweden)로 분석하였으며, 지방은 Folch et al. (1959)의 방법에 따라 Soxhlet 추출장치(Soxhlet heater system C-SH6, Korea)이용하여 분석하였다. 혈액분석을 위해 각 수조마다 5마리씩 어류를 무작위로 선별하여 tricaine methanesulfonate (MS-222, 100 mg/L)용액으로 마취 시킨 후, 미부동맥에서 채혈을 한 다음, Hematocrit과 Hemoglobin, ALT (alanine aminotransferase), AST (aspartate aminotransferase)분석을 위해 이용하였다. ALT와 AST분석은 혈액생화학분석기(Express plus system, Bayer, USA)를 이용하여 분석하였다.

통계학적 분석

실험사료의 배치는 완전확률계획법(Completely randomized

design)을 실시 하였고, 성장 및 분석결과는 SPSS (Version 12.0) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA로 통계 분석되었다. 데이터 값의 유의차는 Duncan's multiple test (P<0.05)로 비교되었다. 데이터는 평균값±표준편차(mean±S.D.)로 나타내었다. 백분율 데이터는 arcsine 변형값으로 계산하여 통계 분석되었다.

결과 및 고찰

겨울철 저수온기 6주간의 사료공급 실험 후, 사료 내 아스타잔틴(AST)과 스피롤리나(SPI)가 첨가된 사료를 섭취한 어류의 성장률, 일간성장률, 사료섭취율, 사료전환효율, 단백질전환효율 및 생존율 결과에서 모든 실험구별로 유의적인 차이는 보이지 않았다(P>0.05). 본 연구는 겨울철 저수온기(12-17°C)에 실시되었으므로 적정수온 하에서의 정상적인 성장이 되지 않은 것으로 나타났다.

Nandeesh et al. (1998)은 잉어를 대상으로 한 4개월간의 스피롤리나 첨가효과 실험(사료 내 25-100% 첨가)에서 성장률, 일간성장률, 사료효율 및 단백질전환효율에서 아무런 유의적인 차이를 발견하지 못하였다. 또한, 같은 어종인 잉어에서 Atack et al. (1979)은 건조 *Spirulina maxima* 의 사료 내 첨가는 어분에 비해 어류의 성장에서 유의적으로 낮게 나타났다고 보고하였다. 그러나, 참돔 치어를 대상으로 한 사료공급 실험에서는 스피롤리나가 사료 내 어분의 50%까지 대체가능하다고 보고하였으며 (El-Sayed, 1994), 같은 어종에서 성장과는 상관없이 사료 내 1%의 스피롤리나 첨가는 항산화작용에 의해 비타민 C의 대사를 증진시킬 수 있다는 긍정적인 결과가 보고되었다 (Nakagawa et al., 2000). 본 연구에서는 사료 내 스피롤리나를 낮은 농도(0.5%)로 첨가하였고, 넙치의 적정수온이 아닌 저수온기에 실험되어 그 결과가 유의적으로 나타나지 않은 것으로 판단된다. 또한, 스피롤리나의 효능은 실험어종(*Girella punctata*, *Tor khudree*, *Pagrus major*, *Cyprinus carpio*, *Oncorhynchus mykiss*,

Table 2. Growth performance of fish fed the experimental diets for 6 weeks¹

Diet	WG (%) ²	SGR (%) ³	FCR ⁴	FI ⁵	PER ⁶	SUV (%) ⁷
CON ⁸	43.90±16.61	0.77±0.28	1.45±0.52	0.70±0.09	1.52±0.48	60.0±20.0
AST ⁹	54.02±3.25	0.54±0.10	1.97±0.32	0.75±0.03	1.10±0.12	84.4±10.2
SPI ¹⁰	81.66±27.59	0.78±0.36	1.50±0.56	0.68±0.09	1.58±0.71	71.1±21.4
AST+SPI ¹¹	56.71±6.19	0.66±0.11	1.94±0.34	0.88±0.11	1.11±0.20	68.9±3.9

¹Means of triplicate groups, values are presented as mean ± S.D. Values in the same column having different superscript are significantly different (P<0.05).

²WG (%)=100×(final mean body weight - initial mean body weight)/initial mean body weight.

³SGR (%)=[(log_e final body weight - log_e initial body weight)/days]×100.

⁴FCR=dry feed fed/wet weight gain.

⁵FI (g/g body weight)=dry feed fed (g)/body weight (g).

⁶PER=wet weight gain/total protein fed.

⁷SUV=survival.

⁸CON=control group.

⁹AST=0.5% astaxanthin group.

¹⁰SPI=0.5% spirulina group.

¹¹AST+SPI=0.5% astaxanthin+0.5% spirulina group.

common carp)과 스피롤리나의 종(*spirulina platensis*, *spirulina maxima*)에 따라 그 결과가 달라질 수 있음이 이전의 연구결과들(Nakazoe et al, 1986; Keshavanath et al, 1986; Nandeesha et al., 1998)에서 알 수 있었으며, 실험사료의 구성에 따라 또한 달라질 수 있음을 알 수 있었다(Atack and Matty, 1979; Atack et al, 1979). 나일틸라피아를 대상으로 한 실험에서는 필수아미노산의 일종인 메티오닌(Methionine)과 함께 사용되었을 경우, 스피롤리나의 이용률과 그에 따른 어류의 성장률을 높일 수 있다고 보고되었다(Chow and Woo, 1990).

본 연구에서는 위의 연구결과(Chow and Woo, 1990)를 바탕으로 Astaxanthin 단독 및 스피롤리나와의 혼합 첨가구를 사용하였지만 성장과 사료효율에서 유의적인 차이가 나타나지 않았으므로 Astaxanthin의 사료 내 0.5%첨가효과는 전혀 없는 것으로 결론지었다. 그리고 Rehulka (2000)는 무지개송어를 대상으로 84일 간의 아스타잔틴 첨가(사료 내 49.8 mg/kg)효과실험을 수행하였고 Kalinowski et al. (2005)은 붉뜸에 아스타잔틴을 첨가(사료 내 20-40 mg/kg)하여 실험하였는데 증체를, 먹이섭취율, 일간성장률 및 사료효율에서 두 실험 모두 본 실험결과와 동일하게 아무런 유의차가 나타나지 않았다. 하지만 이 외에도 비타민 C와 상호 반응하여 비타민 C의 절약효과(Mortensen et al., 2001)를 보였으며, 여러 연구에서 물리적 스트레스에 대한 저항성과 암모니아 스트레스에 대한 저항성 및 항산화효과가 보고되고 있다(Mortensen et al., 2001; Goto et al., 2001; Chien

et al., 2003; Pan et al., 2003; Winston et al., 2004). 본 연구에서 생존율은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 관찰되지 않았지만 아스타잔틴 첨가구에서 84.4%, 대조구에서 60.0%를 나타내었다.

혈액분석 결과에서도 성장결과들과 유사하게 모든 실험구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았다 (Table 3). 또한 사료와 간에서의 DPPH 저해활성분석 결과에서도 실험구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 4). 그러나 실험어류의 간 DPPH 저해활성분석 결과, SPI 사료구에서 대조구보다 높은 DPPH 활성 경향을 보였다. 항산화결과에서 유의성이 없었던 것은 아마도 본 연구에서의 낮은 스피롤리나 첨가량(0.5%)과 저수온의 영향이라고 여겨진다. AST와 ALT는 하나의 특정한 아미노산에서 다른 아미노기로 전이하는 것과 관련된 효소들이다(Chaplin et al., 1967). 이 효소들의 활성은 일반적으로 척추동물에 있어서 간의 기능을 나타내는 지표로 자주 사용되며 일반적으로 높은 AST와 ALT는 명확하지는 않지만 보통 간 기능의 손상 또는 약화를 의미한다(Pan et al, 2003). 갑각류의 간체장은 포유류의 간 및 신장과 일치하는 것으로 추측되어지며(Gibson and Barker, 1979), 난자의 형성, 영양소의 저장과 흡수 및 효소분비를 포함한 주요대사와 관련되어있다(Chanson and Spray, 1992). 이와 관련하여 Pan et al. (2003)은 새우를 대상으로 한 8주 동안의 사료공급실험에서 아스타잔틴(71.5 mg/kg)의 첨가가 새우의 간체장 기능을 개선시켰다는 것을 AST와

Table 3. Serological characteristics of fish fed the experimental diets for 6 weeks¹

Diet	Ht (%) ²	Hb (g/dL) ³	ALT (IU/L) ⁴	AST (IU/L) ⁵
CON ⁶	23.00±0.58	3.66±0.85	5.49±2.80	24.18±12.52
AST ⁷	25.95±1.34	4.03±0.66	8.34±3.19	69.14±41.08
SPI ⁸	25.69±3.66	3.76±0.37	4.11±2.61	27.18±18.97
AST+SPI ⁹	24.86±5.47	3.95±0.35	6.48±2.89	32.72±21.52

¹Means of triplicate groups, values are presented as mean ± S.D. Values in the same column having different superscript are significantly different (P<0.05).

²Hematocrit.

³Hemoglobin.

⁴Alanine aminotransferase.

⁵Aspartate aminotransferase.

⁶CON=control group.

⁷AST=0.5% astaxanthin group.

⁸SPI=0.5% spirulina group.

⁹AST+SPI=0.5% astaxanthin+0.5% spirulina group.

Table 4. Percent antioxidant inhibition against DPPH radicals in the experimental diets and liver of fish fed the diets for 6 weeks¹

Diets	CON ²	AST ³	SPI ⁴	AST+SPI ⁵
Diet	33.2±5.3	59.4±13.2	37.0±6.2	34.4±16.5
Liver	41.7±10.2	41.7±7.3	53.9±16.5	45.4±19.4

¹Means of triplicate groups, values are presented as mean ± S.D. Values in the same row having different superscript are significantly different (P<0.05).

²CON=control group.

³AST=0.5% astaxanthin group.

⁴SPI=0.5% spirulina group.

⁵AST+SPI=0.5% astaxanthin+0.5% spirulina group.

Table 5. Whole body composition (% DM) of fish fed the four experimental diets¹

Diet	Protein	Lipid	Ash	Moisture
CON ²	66.28±2.28	8.68±5.94	15.06±0.40	76.86±0.74
AST ³	73.43±1.72	9.52±2.62	14.11±1.75	77.27±1.07
SPI ⁴	71.11±0.27	8.53±0.48	14.67±1.02	76.2±0.60
AST+SPI ⁵	73.64±5.14	9.59±3.07	14.99±1.24	77.16±1.62

¹Means of triplicate groups, values are presented as mean ± S.D. Values in the same column having different superscript are significantly different (P<0.05).

²CON=control group.

³AST=0.5% astaxanthin group.

⁴SPI=0.5% spirulina group.

⁵AST+SPI=0.5% astaxanthin+0.5% spirulina group.

ALT의 결과로서 보여주었다. 본 연구에서의 혈액분석결과와 Nakagawa et al. (2000)의 연구에서 보여진 혈액분석 결과 (Hematocrit, Hemoglobin, ALT 및 AST 결과에서 효과는 보이지 않지만 유의적인 차이가 없음)와 유사하게 나타남으로서, 사료 내 0.5%와 혼합1%의 낮은 농도 스피롤리나 및 아스타잔틴 첨가는 Hematocrit, Hemoglobin, ALT 및 AST activity에 효과가 없는 것으로 결론지을 수 있다. 전어체 분석결과 (Table 5), 조단백질, 조지방, 조회분 및 수분에서 아무런 유의적인 차이가 없었다. Takeuchi et al. (2002)은 나일틸라피어를 대상으로 한 실험에서 스피롤리나 첨가사료를 섭취한 어류에서 조단백질 함량이 어분사료를 섭취한 어류에서보다 증가하였고, 조회분 함량은 반대로 감소하였다고 보고하였다. 이러한 경향은 본 실험에서도 비슷하게 나타났다. 잉어를 대상으로 한 Nandeesh et al. (1998)의 연구에서는 사료 내 스피롤리나 첨가가 증가할수록 전어체 조지방 함량은 유의적으로 감소되는 것으로 나타났으며, 참돔을 대상으로 한 Nakagawa et al. (2000)의 실험에서는 스피롤리나 첨가 사료가 어분사료에 비해 참돔 간 내 조지방 함량을 유의적으로 감소시켰다고 보고하였다. 위의 연구결과로 판단해 볼 때, 사료 내 스피롤리나 첨가는 어류의 체지방을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서의 조지방 함량에서 유의적인 차이가 나타나지 않은 것은 저수온기에서의 낮은 성장률과 사료 내 저농도의 스피롤리나 첨가로 인한 것으로 사료된다.

본 연구결과를 요약하면, 비록 성장요인과 혈액분석 및 DPPH 저해활성 결과에서 실험사료를 섭취한 넙치치어에서 아무런 유의차를 볼 수 없었지만, 항산화 물질을 포함하고 있는 스피롤리나와 아스타잔틴이 첨가된 사료를 섭취한 어류의 조직에서 DPPH저해활성이 증가될 수 있는 가능성을 보여주었다. 따라서 이러한 경향을 정확히 파악하기 위해서는 저수온기에서 뿐만 아니라 적정 수온기에서 보다 높은 사료 내 첨가함량으로 장기 간의 사육실험이 필요할 것으로 판단된다.

요 약

본 실험은 사료 내 스피롤리나와 아스타잔틴의 첨가가 겨울철 저수온기 넙치 치어의 성장과 조직 내 항산화활성 효과를

알아보기 위하여 수행되었다. 총 180마리의 치어기 넙치(초기 평균무게, 27.8±0.3 g)를 3반복으로 12개의 수조에 배치하였다. 4가지 실험사료는 기초사료를 이용한 대조구와 기초사료에 아스타잔틴을 0.5% 첨가한 AST사료, 스피롤리나를 0.5% 첨가한 SPI사료, 그리고 아스타잔틴과 스피롤리나를 각각 0.5%씩 혼합하여 첨가한 AST+SPI사료로 제조되었다. 6주간의 사육실험 후, 사료 내 스피롤리나와 아스타잔틴을 첨가한 실험구의 성장률, 일간성장률, 사료효율, 단백질전환효율, 혈액분석 및 전어체분석 결과에서 대조구와 비교하여 유의적인 차이가 없었다. 항산화활성도를 위한 실험사료와 간에서의 DPPH 저해활성 분석결과에서도 모든 실험구 사이에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 분석결과에서 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 스피롤리나 첨가구에서 대조구보다 높은 DPPH 저해활성 경향을 보였으며, 생존율은 아스타잔틴 첨가구에서 84.4%, 대조구에서 60.0%를 보였다. 본 실험 결과, 사료 내 스피롤리나와 아스타잔틴의 0.5%첨가는 넙치치어의 성장과 사료효율, 혈액성상, 체성분 등에 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 제주대학교 지역기술혁신센터(TIC)에서 시행한 산학 공동연구 사업 및 친환경해양산업뉴프론티어전문인력양성사업에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

- AOAC, 1995. Official methods of analysis. 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, 1298 pp.
- Atack, T. H., K. Jauncey and A. J. Matty, 1979. The utilization of some single-cell proteins by fingerling mirror carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 18, 337-348.
- Atack, T. H. and A. J. Matty, 1979. The evaluation of single cell protein in the diet of rainbow trout. II. The determination of net protein utilization, biological values and true digestibility. In: *Fish Nutrition and Fish Feed Technology*, II, 261-273.
- Brett, J. R. and D. A. Higgs, 1970. Effects of temperature on tate

- of gastric digestion in fingerling sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. J. Fish. Res. Board Can., 27, 1767–1779.
- Chanson, M. and D. C. Spray, 1992. Gating and single channel properties of gap junction channels in hepatopancreatic cells of *Procambarus clarkii*. Biol. Bull., 183, 341–342.
- Chaplin, A. E., A. K. Hugginst and K. A. Aunday, 1967. The distribution of L- α -aminotransferases in *Carcinus maenas*. Comp. Biochem. Physiol., 20, 195–198.
- Chien, Y. H., C. H. Pan and B. Hunter, 2003. The resistance to physical stresses by *Penaeus monodon* juveniles fed diets supplemented with astaxanthin. Aquaculture, 216, 177–191.
- Chien, Y. H. and S. C. Jeng, 1992. Pigmentation of kuruma prawn, *Penaeus japonicus* Bate, by various pigment sources and levels and feeding regimes. Aquaculture, 102, 333–346.
- Chow, C. Y. and N. Y. S. Woo, 1990. Bioenergetic studies on an omnivorous fish *Oreochromis mossambicus*: Evaluation of the utilization of *Spirulina* algae in feeds. In: R. Hiranu and I. Hanyu (Editors), Proc. 2nd Asian Fish. Forum, Tokyo, Japan. pp. 291–294.
- El-Sayed, A.-F. M., 1994. Evaluation of soybean meal, *Spirulina* meal and chicken offal meal as protein sources for silver seabream (*Rhabdosargus sarba*) fingerlings. Aquaculture, 127, 169–176.
- Folch, J., M. Lee and G. H. Sloane-Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem., 226, 497–509.
- Gipson, R. and P.L. Barker, 1979. The decapod hepatopancreas. Oceanogr. Mar. Biol., 17, 285–346.
- Goto, S., K. Kogure, K. Abe, Y. Kimata, K. Kitahama, E. Yamashita and H. Terada, 2001. Efficient radical trapping at the surface and inside the phospholipid membrane is responsible for highly potent antiperoxidative activity of the carotenoid astaxanthin. Biochim. Biophys. Acta., 1512, 251–258.
- Gristead, G. S., M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband and J. L. Nelssen, 2000. Effects of *Spirulina platensis* on growth performance of weanling pigs. Anim. Feed. Sci. Tech., 83, 237–247.
- Hernandez-Corona, A., I. Nieves, M. Meckes, G. Chamorro and B. L. Barron, 2002. Antiviral activity of *Spirulina maxima* against herpes simplex virus type 2. Antivir. Res., 56, 279–285.
- Kalinowski, C. T., L. E. Robaina, H. Fernandez-Palacios, D. Schuchardt and M.S. Izquierdo, 2005. Effect of different carotenoid sources and their dietary levels on red porgy (*Pagrus pagrus*) growth and skin colour. Aquaculture, 244, 223–231.
- Keshavanath, P., T. J. Varghese, H. P. C. Shetty, D. K. Murthy and D. Gogoi, 1986. Impact of diets with various protein sources and 17 α -methyl testosterone on the growth of mahseer *Tor khudree*. Punjab Fisheries Bulletin, 10, 72–83.
- Kim, G. U., H. S. Jang, J. Y. Seo and S. M. Lee, 2005. Effect of feeding frequency of extruded pellet on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* during the winter season. J. Aquacult., 18, 31–36.
- Lee, S. M., Y. S. Lim, Y. B. Moo, S. K. Yoo and S. Rho, 1996. Effects of supplementation macroalgae and *Spirulina* in diets on growth performance in juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). J. Aquacult., 11, 31–38.
- Liao, I. C. and Y. H. Chien, 1994. Culture of kuruma prawn (*Penaeus japonicus*) in Asia. J. World. Aquacult. Soc., 25, 18–33.
- Mensaveta, P., W. Worawattanamateekul, Y. Latscha and J. S. Clark, 1993. Correction of tiger prawn (*Penaeus monodon* Fabricius) coloration by astaxanthin. Aquac. Eng., 12, 203–213.
- Mortensen, A., L. H. Skibsted and T. G. Truscott, 2001. The Interaction of dietary carotenoids with radical species. Arch. Biochem. Biophys., 385, 13–19.
- Mustafa, M. G., T. Umino and H. Nakagawa, 1994. The effect of *spirulina* feeding on muscle protein deposition in red sea bream, *Pagrus major*. J. Appl. Ichthyol., 10, 141–145.
- Nakagawa, H., M. G. Mustafa, K. Takii, T. Umino. and H. Kumai, 2000. Effect of dietary catechin and *Spirulina* on vitamin C metabolism in red sea bream. Fisheries. Sci., 66, 321–326.
- Nakazoe, J., S. Kimura, M. Yokoyama and H. Iida, 1986. Effect of the supplementation of algae of the lipids to the diets on the growth and body composition of nibbler, *Girella punctata* Grey. Bull. Tok. Region. Fish. Res. Lab., 120, 43–51.
- Nandeesha, M. C., B. Gangadhara, J. K. Manissery and L. V. Venkataraman, 2001. Growth performance of two Indian major carps, catla (*Catla catla*) and rohu (*Labeo rohita*) fed diets containing different levels of *Spirulina platensis*. Biore. Tech., 80, 117–120.
- Nandeesha, M. C., B. Gangadhara, T. J. Varghese and P. Keshavanath, 1998. Effect of feeding *Spirulina platensis* on the growth, proximate composition and organoleptic quality of common carp, *Cyprinus carpio* L. Aquac. Res., 29, 305–312.
- Negre-Sadargues, G., R. Castillo, H. Petit, S. Sance, R. G. Martinez, J. C. G. Milicua, G. Choubert and J. P. Trilles, 1993. Utilization of synthetic carotenoids by the prawn *Penaeus japonicus* reared under laboratory conditions. Aquaculture, 110, 151–159.
- Okada, S., S. A. Nur-E-Borhan and K. Yamaguchi, 1994. Carotenoid composition in the commercial black tiger prawns. Fisheries. Sci., 60, 213–215.
- Palmeigiano, G. B., E. Agradi, G. Forneris, F. Gai, L. Gasco, E. Rigamonti, B. Sicuro and I. Zoccarato, 2005. *Spirulina* as a nutrition source in diets for growing sturgeon (*Acipenser baeri*). Aquac. Res., 36, 188–195.
- Pan, C. H., Y. H. Chien and B. Hunter, 2003. The resistance to ammonia stress of *Penaeus monodon* Fabricius juvenile fed diets supplemented with astaxanthin. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 297, 107–118.
- Rehulka, J., 2000. Influence of astaxanthin on growth rate, condition, and some blood indices of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 190, 27–47.
- Richmond, A., 1988. *Spirulina*. In: Micro-Algal Biotechnology (ed. by M. A. Borowitz & L. J. Borowitzka). Cambridge University Press, Cambridge. pp 85–121.
- Sandoval, M., N. N. Okuhama, M. F. Angeles, V. V. Melchor, A. L. Condezo, J. Lao and S. J. M. Miller, 2002. Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*). Food Chem., 79, 207–213.
- Santillan, S. C., 1979. Progresos con el alga *Spirulina* en la ali-

- mentacion de animales y humanos. VIII Congreso Interamericano de Ingenieria Quimica, Bogota, Colombia, August 1979. Mimeography, pp 32.
- Takeuchi, T., J. Lu, G. Yoshizaki and S. Satoh, 2002. Effect on the growth and body composition of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* fed raw *Spirulina*. Fisheries. Sci., 68, 34-40.
- Wang, Y., C. F. Chang, J. Chou, H. L. Chen, X. Deng, B. K. Harvey, J. L. Cadet and P. C. Bickford, 2005. Dietary supplementation with blueberries, spinach, or *Spirulina* reduces ischemic brain damage. Exp. Neurol., 193, 75-84.
- Winston, G. W., D. G. E. Lemaire and R. F. Lee, 2004. Antioxidants and total oxyradical scavenging capacity during grass shrimp, *Palaemonetes pugio*, embryogenesis. Comp. Biochem. Physi. C., 139, 281-288.
- Zhou, Z. P., L. N. Liu, X. L. Chen, J. X. Wang, M. Chen, Y. Z. Zhang and B. C. Zhou, 2005. Factors that effect antioxidant activity of C-phycoyanins from *Spirulina platensis*. J. Food. Biochem., 29, 313-322.
- 김강웅, 구자완, 김기홍, 배승철, 2000. 사료내 알로에 첨가가 치어기 넙치의 성장에 미치는 영향. 춘계수산관련 공동학술대회. 302-303.
- 김동수, 김종현, 정창화, 이상윤, 이상민, 문영봉, 1998. 한방사료 첨가제인 어보산의 효과. . 넙치의 생존율, 성장, 사료효율 및 비만도에 미치는 영향. 한국양식학회지. 11(2), 213-221.
- 김이청, 1999. 구기자공급이 나일틸라피아, *Oreochromis niloticus*의 면역반응에 미치는 영향. 부경대학교 대학원 박사학위논문. 5-14.
- 김조연, 최민순, 1996. 파래첨가 사료가 이스라엘계 잉어, *Cyprinus carpio*의 성장 및 혈액성상에 미치는 영향. 한국양식학회지. 9(2), 151-157.
- 송영보, 문상욱, 이영돈, 2002. 상품사료에 첨가한 감굴발효액이 치어기 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 성장에 미치는 영향. 한국양식학회지. 15(2), 103-110.
- 송영보, 장시흠, 김세재, 이영돈, 2003. 어류사료에 첨가한 표고버섯, *Lentinula edocles*이 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 성장에 미치는 영향. 제주생명과학연구지. 제6권 (2호) 12월, 105-117.
- 이영돈, 송영보, 문순주, 박승립, 문영배, 2000. 키토산올리고당을 공급한 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 성장 효과. 춘계 수산관련학회 공동학술 대회. 209-291.

원고접수 : 2005년 12월 12일

수정본 수리 : 2006년 2월 7일