



## 저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

수산학박사 학위논문

넙치 사료 내 **EPA**와 **DHA** 요구량  
설정과 우지(牛脂) 및 계유(鷄油)의  
어유 대체 가능성 연구



김 영 철

수산학박사 학위논문

# 넙치 사료 내 EPA와 DHA 요구량 설정과 우지(牛脂) 및 계유(鷄油)의 어유 대체 가능성 연구

지도교수 배 승 철

이 논문을 수산학박사 학위논문으로 제출함.

2009년 2월

부경대학교 대학원

수산생물학과

김 영 철

金泳澈의 수산학박사 학위논문을 인준함

2009년 2월 25일

주 심 수산학 박사 이 정 열



위 원 농 학 박 사 김 창 훈



위 원 이 학 박 사 류 동 기



위 원 수산학 박사 유 진 형



위 원 영양학 박사 배 승 철



# 목 차

|                                                  |        |
|--------------------------------------------------|--------|
| <b>Abstract</b> .....                            | iv     |
| <b>List of tables</b> .....                      | xi     |
| <b>List of figures</b> .....                     | xiii   |
| <br><b>제 1 장 서 론</b> .....                       | <br>1  |
| <br><b>제 2 장 넙치 사료내 DHA와 EPA 요구량 설정 연구</b> ..... | <br>10 |
| 제 1 절 재료 및 방법 .....                              | 10     |
| 1. DHA 요구량 설정 연구 .....                           | 10     |
| 1) 실험어 사육관리 .....                                | 10     |
| 2) 실험사료 설계 .....                                 | 10     |
| 3) 어체측정 .....                                    | 11     |
| 4) 성분분석 .....                                    | 11     |
| 5) 통계분석 .....                                    | 12     |
| 2. EPA 요구량 설정 연구 .....                           | 15     |
| 1) 실험어 사육관리 .....                                | 15     |
| 2) 실험사료 설계 .....                                 | 15     |
| 3) 어체측정 .....                                    | 16     |
| 4) 성분분석 .....                                    | 16     |
| 5) 통계분석 .....                                    | 16     |
| 제 2 절 결과 .....                                   | 19     |
| 1. DHA 요구량 설정 연구 .....                           | 19     |
| 2. EPA 요구량 설정 연구 .....                           | 25     |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 제 3 절 고찰 .....         | 35 |
| 1. DHA 요구량 설정 연구 ..... | 35 |
| 2. EPA 요구량 설정 연구 ..... | 37 |
| 제 4 절 향후 연구방향 .....    | 39 |

### 제 3 장   넙치 사료내 우지와 계유의 어유 대체 가능성 연구 ... 40

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 제 1 절 재료 및 방법 .....       | 40 |
| 1. 우지의 어유 대체 가능성 연구 ..... | 40 |
| 1) 실험어 사육관리 .....         | 40 |
| 2) 실험사료 설계 .....          | 40 |
| 3) 어체측정 .....             | 41 |
| 4) 성분분석 .....             | 41 |
| 5) 통계분석 .....             | 43 |
| 2. 계유의 어유 대체 가능성 연구 ..... | 47 |
| 1) 실험어 사육관리 .....         | 47 |
| 2) 실험사료 설계 .....          | 47 |
| 3) 어체측정 .....             | 47 |
| 4) 성분분석 .....             | 47 |
| 5) 통계분석 .....             | 48 |
| 제 2 절 결과 .....            | 52 |
| 1. 우지의 어유 대체 가능성 연구 ..... | 52 |
| 2. 계유의 어유 대체 가능성 연구 ..... | 63 |
| 제 3 절 고찰 .....            | 74 |
| 1. 우지의 어유 대체 가능성 연구 ..... | 74 |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| 2. 계유의 어유 대체 가능성 연구 .....              | 76        |
| <b>제 4 장 어유 대체에 따른 경제적 가치 평가 .....</b> | <b>78</b> |
| 제 1 절 분석 대상의 선정 .....                  | 78        |
| 제 2 절 비용의 효율성 및 이익 마진을 .....           | 80        |
| 제 3 절 결과 .....                         | 81        |
| 제 4 절 고찰 .....                         | 84        |
| <b>제 5 장 종합 고찰 .....</b>               | <b>85</b> |
| <b>제 6 장 결론 .....</b>                  | <b>91</b> |
| <b>제 7 장 요약 .....</b>                  | <b>93</b> |
| 감사의 글 .....                            | 98        |
| 참고문헌 .....                             | 100       |



# EPA and DHA requirements, and evaluation of the dietary beef tallow or poultry oil as a fish oil replacer in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*

Young Chul Kim

*Department of Fisheries Biology, Graduate School,  
Pukyong National University,  
Busan 608-737, Korea*

## **ABSTRACT**

The present study were conducted to EPA and DHA requirements, and evaluation of dietary beef tallow or poultry oil as a fish oil replacer in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*.

In experiment I, the broken line analysis and second order polynomial analysis of weight gain indicated that the dietary DHA requirement of olive flounder are the than 1.26% but less than 1.68% in the diet for maximum growth.

In experiment II, the broken line analysis and second order polynomial analysis of weight gain indicated that the dietary EPA requirement of olive flounder are the than 1.10% but less than 1.59% in the diet for maximum growth.

In experiment III, based on the results of growth performance, beef tallow could replace fish oil up to 100% in the diet containing 53.9% of fish meal for juvenile olive flounder.

In experiment IV, based on the results of growth performance, poultry oil could replace fish oil up to 100% in the diet containing 53.9% of fish meal for juvenile olive flounder.

### **<EPA and DHA requirements in olive flounder diet>**

#### **1. Dietary DHA (docosahexaenoic acid) requirement levels in juvenile olive flounder**

The present study was conducted to evaluate dietary DHA requirement level of essential fatty acids (EFAs) in juvenile olive flounder cultured in a semi-recirculating system for 8 weeks. All the experimental diets were formulated to be isonitrogenous (50% crude protein, CP) and isocaloric (16.8 kJ/g energy diet). In the experiment, triplicate groups of 15 fish averaging  $3.51 \pm 0.12$  g (mean  $\pm$  S.D.) were fed one of the seven experimental diets for 8 weeks. Deffatted fish meal and casein were used as the main protein sources, while coconut oil was used as the lipid source. At the end of the feeding trial, the effects of DHA supplementation on weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER), survival rate (%) and hepatosomatic index (HSI) were evaluated. WG and SGR of fish fed DHA 1.25% and DHA 2.0% diets were significantly higher than those of fish fed control diet ( $P < 0.05$ ). FE and PER of fish fed control diet was

significantly lower than those of fish fed DHA 1.25%, DHA 1.5% and 2.0% diets ( $P<0.05$ ). Survival rate (%) fed DHA 1.0% diet was significantly lower than that of fish fed DHA 1.25% diet ( $P<0.05$ ). Hepatosomatic index(HSI) of fish fed the experimental diets was not significant different.

Broken line analysis of weight gain and second order polynomial analysis of weight gain indicated that the dietary DHA requirement of olive flounder could be are the than 1.26% but less than 1.68% in the diet for maximum growth.

## **2. Dietary EPA (eicosapentaenoic acid) requirement levels in juvenile olive flounder**

The present study was conducted to evaluate dietary EPA requirement level of essential fatty acids (EFAs) in juvenile olive flounder cultured in a semi-recirculating system for 8 weeks. All the experimental diets were formulated to be isonitrogenous (50% crude protein, CP) and isocaloric (16.8 kJ/g energy diet). In the experiment, triplicate groups of 15 fish averaging  $3.50\pm0.10$  g (mean $\pm$ S.D.) were fed one of the seven experimental diets for 8 weeks. Deffatted fish meal and casein were used as the main protein sources, while coconut oil was used as the lipid source. At the end of the feeding trial, the effects of EPA supplementation on weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER), survival rate (%) and hepatosomatic index (HSI) were evaluated. WG and SGR of fish fed control diet was significantly lower than those of fish the other

diets ( $P < 0.05$ ), and fish fed diets containing each EPA and DHA 0.5%, 0.75% and 1.0% were significantly lower than those of fish fed the other diets. FE and PER were shown the same trend as WG and SGR. There were no significant differences in survival rate (%) and hepatosomatic index (HSI) of fish fed the experimental diets.

Broken line analysis of weight gain and second order polynomial analysis of weight gain indicated that the dietary EPA requirement of olive flounder could be are the than 1.10% but less than 1.59% in the diet for maximum growth.

### **<Evaluation of beef tallow and poultry oil as a fish oil replacer in olive flounder diet>**

#### **1. Evaluation of beef tallow as a fish oil replacer in olive flounder diet**

The experiment was conducted to determine the optimum dietary inclusion level of beef tallow (BT) as a fish oil (FO) replacer in a diet for olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. All the experimental diets were formulated to be isonitrogenous (53.3% crude protein, CP) and isocaloric (16.2 kJ/g energy diet). In the experiment, triplicate groups of 15 fish averaging  $3.93 \pm 0.07$  g (mean  $\pm$  S.D.) were fed one of the seven experimental diets for 8 weeks. Fish meal, corn gluten meal, soybean meal and shrimp meal were used as the main protein sources, while semi-crude salmon oil and beef tallow were used as the lipid source. At

the end of the feeding trial, the effects of beef tallow supplementation on weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feeding efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER), survival rate (%), whole body proximate analysis, whole body fatty acids composition, liver fatty acids composition and serological characteristics were evaluated. WG and SGR of fish fed BT 75.9%+DHA 24.1% diet was significantly higher than those of fish fed control diets ( $P<0.05$ ), then fish fed BT 75.9%+DHA 24.1% diet was not significantly different than those of fish fed BT 63%+DHA 20% diet. FE and PER of fish fed BT 75.9%+DHA 24.1% diet was significantly higher than those of fish fed control diet. There was no significant difference in survival rate (%) of fish fed the experimental diets.

Based on the results of growth performance, we concluded that BT could replace FO up to 100% in the diet containing 53.9% of fish meal for juvenile olive flounder.

## **2. Evaluation of poultry oil as a fish oil replacer in olive flounder diet**

The experiment was conducted to determine the optimum dietary inclusion level of poultry oil (PO) as a fish oil (FO) replacer in a diet for olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. All the experimental diets were formulated to be isonitrogenous (53.3% crude protein, CP) and isocaloric (16.2 kJ/g energy diet). In the experiment, triplicate groups of 15 fish averaging  $3.93\pm0.07$  g (mean $\pm$ S.D.) were fed one of the seven experimental diets for 8 weeks. Fish meal, corn gluten meal, soybean

meal and shrimp meal were used as the main protein sources, while semi-crude salmon oil and beef tallow were used as the lipid source. At the end of the feeding trial, the effects of beef tallow supplementation on weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feeding efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER), survival rate (%), whole body proximate analysis, whole body fatty acids composition, liver fatty acids composition and serological characteristics were evaluated. WG and SGR of fish fed PO 50% diet was significantly lower than those of fish fed PO 75% and PO 100% diets ( $P<0.05$ ), then fish fed control diet was not significantly different than those of fish fed the other diets. There were no significant differences in FE and PER of fish fed the experimental diets. Survival rate (%) of fish fed the all diets were not significantly different.

Based on the results of growth performance, we concluded that PO could replace FO up to 100% in the diet containing 53.9% of fish meal for juvenile olive flounder.

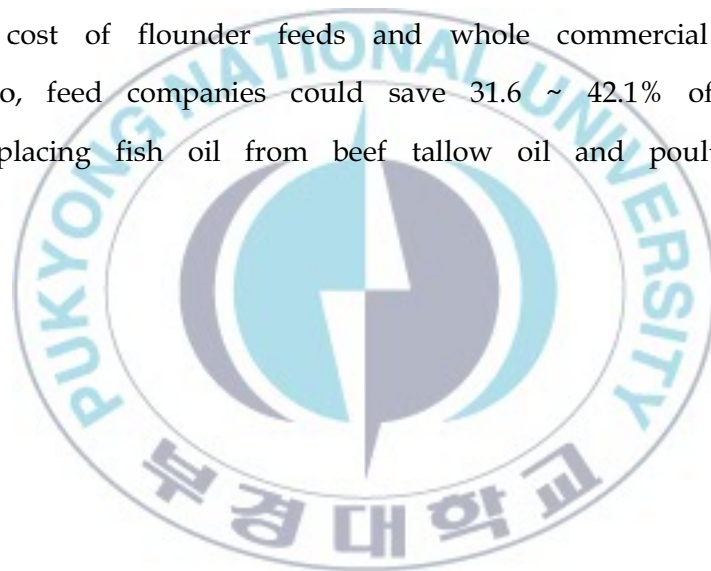
#### **<Value evaluation by replacing fish oil from other oil sources>**

From the results of the present studies, each beef tallow oil and poultry oil could replace fish oil up to 100% with use of fish meal containing 53.9% crude protein. In the consideration of economic value, feed companies could save 600 and 450 million won if fish oil in the flounder feeds were replaced by beef tallow oil and poultry oil, respectively, and also feed companies could save 5,760 and 7,670 million won if fish oil in

the whole commercial feeds were replaced by beef tallow oil and poultry oil, respectively. In the aspect of the profit margin, feed companies could save 31.6 and 42.1% of production cost by replacing fish oil from beef tallow oil and poultry oil, respectively.

However, fatty acid composition of fish fed diets containing beef tallow oil and poultry oil level up to 25% showed no significant difference with fish fed diets containing 100% of fish oil.

Therefore, according to the results of growth performance, beef tallow oil and poultry oil could replace fish oil up to 100%, and feed companies could save 450 ~ 600 million won and 5,760 and 7,670 million won in the production cost of flounder feeds and whole commercial feeds, respectively. Also, feed companies could save 31.6 ~ 42.1% of profit margin with replacing fish oil from beef tallow oil and poultry oil, respectively.



## List of Tables

|                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Table 1.</b> Fish oil replacement of fish species .....                                                                                                                                                                      | 4  |
| <b>Table 2.</b> Essential fatty acid requirements (% of dry diet) of fish .....                                                                                                                                                 | 6  |
| <b>Table 3.</b> Fish feeds production in Korea .....                                                                                                                                                                            | 9  |
| <b>Table 4.</b> Composition and proximate analysis of the seven different experimental diets .....                                                                                                                              | 13 |
| <b>Table 5.</b> Fatty acids composition of coconut oil , DHA and EPA .....                                                                                                                                                      | 14 |
| <b>Table 6.</b> Composition and proximate analysis of the seven different experimental diets .....                                                                                                                              | 17 |
| <b>Table 7.</b> Weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER) and survival rate(%) of juvenile olive flounder fed the seven experimental different diets for 8 weeks ..... | 20 |
| <b>Table 8.</b> Weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER) and survival rate(%) of juvenile olive flounder fed the nine experimental different diets for 8 weeks .....  | 27 |
| <b>Table 9.</b> Composition and proximate analysis of the seven experimental different diets for olive flounder .....                                                                                                           | 44 |
| <b>Table 10.</b> Fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets .....                                                                                                                            | 45 |
| <b>Table 11.</b> Fatty acids composition of fish oil and beef tallow .....                                                                                                                                                      | 46 |
| <b>Table 12.</b> Composition and proximate analysis of the experimental diets for olive flounder .....                                                                                                                          | 49 |
| <b>Table 13.</b> Fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets .....                                                                                                                            | 50 |

|                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Table 14.</b> Fatty acids composition of fish oil and poultry oil .....                                                                                                                                                       | 51 |
| <b>Table 15.</b> Weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER) and survival rate(%) of juvenile olive flounder fed the seven different experimental diets for 8 weeks ..... | 55 |
| <b>Table 16.</b> Serological characteristics of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks .....                                                                                                             | 56 |
| <b>Table 17.</b> Whole body composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks .....                                                                                                                  | 58 |
| <b>Table 18.</b> Whole body fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks .....                                                                                                      | 59 |
| <b>Table 19.</b> Liver fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks .....                                                                                                           | 61 |
| <b>Table 20.</b> Weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER) and survival rate(%) of juvenile olive flounder fed the seven experimental different diets for 8 weeks ..... | 66 |
| <b>Table 21.</b> Serological characteristics of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks .....                                                                                                             | 67 |
| <b>Table 22.</b> Whole body composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks .....                                                                                                                  | 69 |
| <b>Table 23.</b> Whole body fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks .....                                                                                                      | 70 |
| <b>Table 24.</b> Liver fatty acid profiles composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks .....                                                                                                   | 72 |
| <b>Table 25.</b> Prices of fish oil, beef tallow and poultry oil .....                                                                                                                                                           | 79 |
| <b>Table 26.</b> The efficiency and profit margin in olive flounder feed .....                                                                                                                                                   | 82 |
| <b>Table 27.</b> The efficiency and profit margin in total fish feeds .....                                                                                                                                                      | 83 |

## List of Figures

|                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Fig. 1.</b> World production of olive flounder .....                                                                                                                                                                                      | 8  |
| <b>Fig. 2.</b> Weight gain(WG, %) of olive flounder fed the different levels of DHA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ) .....             | 21 |
| <b>Fig. 3.</b> Specific growth rate (SGR) of olive flounder fed the different levels of DHA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ) .....     | 21 |
| <b>Fig. 4.</b> Feed efficiency (FE, %) of olive flounder fed the different levels of DHA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ) .....        | 22 |
| <b>Fig. 5.</b> Protein efficiency ratio (PER) of olive flounder fed the different levels of DHA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ) ..... | 22 |
| <b>Fig. 6.</b> Broken line analysis for weight gain (WG, %) base on the different dietary DHA levels .....                                                                                                                                   | 23 |
| <b>Fig. 7.</b> Second order polynomial analysis for weight gain (WG, %) base on the different dietary DHA levels .....                                                                                                                       | 24 |
| <b>Fig. 8.</b> Weight gain (WG, %) of olive flounder fed the different levels of EPA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ) .....            | 29 |
| <b>Fig. 9.</b> Specific growth rate (SGR) of olive flounder fed the different levels of EPA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ) .....     | 30 |
| <b>Fig. 10.</b> Feed efficiency (FE, %) of olive flounder fed the different levels of EPA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have                                                                            |    |

|                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ) .....                                                                                                                                                             | 31 |
| <b>Fig. 11.</b> Protein efficiency ratio (PER) of olive flounder fed the different levels of EPA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ..... | 32 |
| <b>Fig. 12.</b> Broken line analysis for weight gain (WG, %) base on the different dietary EPA levels .....                                                                                                                      | 33 |
| <b>Fig. 13.</b> Second order polynomial analysis for weight gain (WG, %) base the different dietary EPA levels .....                                                                                                             | 34 |



## 제 1 장 서 론

전세계 인류의 중요한 식량 중에 하나인 단백질은 농·축산업과 수산업 분야에서 생산되어 왔으나, 제한된 공간으로 인하여 현재 농·축산업의 생산량 증가율은 한계에 이른 상태이며, 인구 증가와 환경문제 등을 고려할 때 계속해서 증가하는 인류의 단백질 수요를 앞으로 많은 부분 수산업에서 충당해야 한다 하였다(Bai et al., 1999; Choi, 2005). 또한, 주요 수산물 (어류, 갑각류 및 연체동물)의 세계 어업 생산고는 6천만 톤으로 한계에 도달한 것으로 하였으며, 어업에 의한 생산량 증대는 더 이상 기대할 수 없는 것으로 예측되며 앞으로도 환경오염, 남획 등으로 말미암아 증가할 가능성은 더욱더 희박하다(Bai et al., 1999). 반면에 전세계 주요수산물의 양식 생산량은 계속 증가 일로에 있고 그 중요성이 부각되고 있으며, 이러한 상황에서 주요수산물의 일인당 소비를 현 수준인 연간 13.5kg으로 잡아도 2035년에는 인구의 자연증가에 따르는 소비의 급속한 양적 팽창이 요구되어 현재 6천2백만 톤에서 1억2천만 톤까지 세계 어업 생산고 보다 1~2 배 정도 많은 양이 수산 양식업에서 생산 공급되어야 할 것으로 예상되고 있다(Michale, 1999; Choi, 2005).

우리나라는 30~40년 전까지 만해도 곡물을 자급하는 국가였으나, 1994년에 66%, 2003년에 73%의 곡물을 수입하고 있는 실정이다. 중국은 1978년 (어업 총생산량 344만톤; 양식 총생산량 121만톤) 개혁 개방의 길로 들어선 이래로 양식을 중심으로 한 수산업 발전 방향을 제시하고 10년만인 1988년에는 양식 총생산량 532만톤이 어업생산량 529만톤을 능가하는 발전을 이룩하여, 2006년에는 연간 양식 총생산량 4,530만톤으로 어업 총생산량 1,742만톤을 약 3배 앞질렀으며(FAO, 2008), 향후 지속적으로 양식 총 생산량이 증가될 전망이다.

중국은 이미 양식산업을 국가 기반 산업화하는데 성공하였다고 볼 수 있다. Brown 박사 (1998)는 그의 저서에서 조만간에 많은 양의 곡물과 단백질 식품을 수입하는 전세계 국가 중 중국이 최대 수입국이 될 것이라고 예언한 바가 있다(따남환경신서 18; 1998). 또한 2008년에 지구온난화로 인한 전세계 곡물 생산량의 감소와 중국과 인도 등 신흥부흥국가의 인구증가 및 소비 증진으로 인한 곡물 소비 증진, 전세계 유가 상승으로 인하여 대체 연료 생산을 위한 바이오 디젤과 에탄올 개발로 인한 곡물 가격 상승(전세계 옥수수 및 콩 생산량의 12% 차지) 및 선진국의 곡물의 독과적 구매를 통하여 2008년 초반에 급격한 곡물 가격 상승으로 전세계를 곡물 위기를 위한 대처 방안을 강구해야 한다는 보고가 있었다(FAO, 2008). 이러한 곡물 가격 상승으로 인하여 사료용 곡물을 전량 수입하는 국내의 경우 사료 값이 30~40% 이상 폭등 하였으나, 양식어류의 가격은 지난 10년전 보다 낮은 가격을 형성하여 양식어민들이 어려움에 처해 있다.

이러한 위기를 조금이나마 극복하기 위해서 넙치용 배합사료 가격 절감을 위한 연구가 실시되어져 넙치 양식어가들의 경제적 어려움을 극복하는데 뒷받침 되어야 할 것이다. 오늘날 양어사료 영양분야는 양식 산업 성공의 핵심 중의 하나이다. 양식산업에 있어 우선 양식 가능한 어종을 선택하여 종묘생산기술이 개발되면, 질 좋은 사료에 의한 사육관리가 뒷받침되어야 하는 사실은 잘 알려진 바이며, 특히 사료비가 양식 종의 생산단가의 30~60%를 차지하는 것을 감안하면 사료 영양의 중요성을 알 수 있다(Bai et al., 1999).

양어용 배합사료의 주원료인 어유는 전세계적으로 지난 20여년간 약 100톤 규모로 더 이상의 증가를 보이지 못했으며, 오히려 1999년 약 80만톤 규모로 감소한 바 있다. 어유는 양식 산업의 발전과 함께 수요는 지속적으로 증가되고 있으나 공급이 뒤따르지 못하여 가격 상승을 가져오고 있으며, 어유의 제한적 공급과 수요의 증가로 인하여 어유 대체를 위한 연구가 대두되

고 있다(Table 1). 또한 어유에는 환경호르몬인 다이옥신(Dioxin) 및 다이옥신과 유사한 PCBs의 물질이 증가하여 많은 문제점을 야기 할 수 있을 것으로도 우려되어져, 산업적으로 양어사료 내 어유 대체 관련한 연구가 절실히 필요하다 하였다(FSAI, 2002; Lundebye et al., 2004). 이렇듯 어유 수요는 지속적으로 증가하고 있으나 공급이 뒤따르지 못하고 있으며, 어유 내 환경호르몬 등의 존재로 인하여 어유 대체 연구가 수행되어져야 할 것이다.

해산어의 어유 대체 관련한 연구를 수행하기 위해서는 우선적으로 필수지방산인 EPA와 DHA에 대한 요구량 설정이 실시되어져야 하는데 EPA와 DHA 요구량이 설정된다면 값비싼 어유 대신에 다른 식물성유 및 육상동물성유로 대체 하여도 무관할 것이다.

그간의 어유 대체 관련한 연구 결과들을 확인하면, Sharpsnout seabream에서 어유를 대두유 및 아마인유로 대체가 가능하였으며(Piedecausa et al., 2007), 터봇에 있어서 대두유와 아마인유를 3개월 공급하고 다시 어유로 전환하여 공급하였을 경우 어유와 약간의 성장차이만 보였다(Regost et al., 2003). 또한, Murray cod에서 아마인유로 어유 대체가 가능하였다(Francis et al., 2006). 그 외 식물성유인 유채유(canola oil)를 red sea bream에 있어서 어유 대체가 가능하였다(Huang et al., 2007). 하지만, Sea bass(Xue et al., 2006)에 있어서는 돈지, 우지, 가금유, 대두유 및 옥수수유를 이용하여 어유를 50% 수준까지만 대체가 가능하였다. 그 외 담수어종인 Largemouth bass에 있어서는 계유로 대체가 가능하였다(Subhadra et al., 2006). 이러한 어유 대체를 위해서는 우선적으로 어종별 필수지방산 요구량이 설정되어야 하며, 해산어인 경우 EPA와 DHA요구량 설정이 완료되면 어유를 다른 동·식물성유로 대체가 가능케 할 수 있을 것이다.

이러한 필수 지방산은 EPA와 DHA로 필수적으로 공급되어져야 하며, 결핍시 피부증후(지느러미 부식), 마비증상, 심근염, 성장과 사료효율의 감소,

Table 1. Fish oil replacement of fish species

| Species             | Fishmeal content(%) | Oil sources                                                   | Fish oil replacer   | References              |
|---------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Sharpsnout seabream | 46%                 | Soybean oil and linseed oil                                   | 100%                | Piedecausa et al., 2007 |
| Murray cod          | 10%                 | Linseed oil                                                   | 100%                | Francis et al., 2006    |
| Red sea bream       | 50%                 | Canola oil                                                    | 70%                 | Huang et al., 2007      |
| Turbot              | 50%                 | Soybean oil and linseed oil                                   | Significantly lower | Regost et al., 2003     |
| Sea bass            | 50%                 | Pork lard, beef tallow, poultry fat, soybean oil and corn oil | 50%                 | Xue et al., 2006        |
| Largemouth bass     | 30%                 | Chicken oil                                                   | 100%                | Subhadra et al., 2006   |

폐사율 증가, 생식활동의 감소 및 많은 문제점을 야기하게 된다(Castell et al., 1972; Takeuchi and Watanbe, 1977a, b; Takeuchi et al., 1980; Watanbe et al., 1984 a, b; Satohat et al., 1989). 또한, 필수지방산은 생체막 구성성분으로 액상으로 존재하며 세포 기능 및 생명 유지를 하며, 염분 분포, 서식수온 및 먹이 습성에 따라 어종별로 다르며(Table 2), 생체막의 유동성, 효소활성(Stubbs & Smith, 1984; Swanson et al., 1989) 및 prostaglandin의 전구물질(Kaley et al., 1985; Broughton et al., 1991)로 그 역할이 중요한 것으로 알려져 있다. 담수어인 무지개송어(Castell, 1972)는 linolenic acid (18:3n-3)를, 잉어 (Takeuchi, 1998)는 linolenic acid와 linoleic acid 모두를, 그리고 해산어인 터봇(Bell et al., 1985)은 EPA (Ecosapentaenoic acid)와 DHA (Docosahexaenoic acid) 같은 n-3 HUFA를 필수지방산으로 요구하는 것으로 알려져 있다. 이는 어체내의 지방산 전환능력이 어종마다 다르기 때문이다.

이미 넙치에 있어서 필수지방산 요구량 평가가 연구된바(Takeuchi, 1998; Kim and Lee, 2004) 있으나 기존의 연구가 필수지방산인 n-3 HUFA의 요구량 연구로 실시되어져 있으며, Kim and Lee(2004)의 경우에 있어서는 사료내 지질 함량을 6.3~6.5% 수준으로 하여 치어기 넙치가 요구하는 지질 함량을 10%(Kim et al., 2002)의 수준에 미치지 못하여 좀 더 구체적인 연구가 요구되어졌다.

따라서 본 연구는 넙치의 필수지방산인 EPA와 DHA의 각각의 요구량을 설정하고, 어유 대체원으로써 육상동물성유인 우지 및 계유로 어유 대체 가능성을 타진하는데 있고자 하였다.

육상 동물성유인 우지는 소의 지육(脂肉)에서 얻는 지방으로 식용, 윤활유, 비누제조 및 사료용 등에 사용되며, 계유는 닭의 머리, 내장 및 머리를 가공하여 유지를 추출한 지질원으로 써 주로 식용, 윤활유, 비누제조 및 사료용 등에 사용 된다. 이러한 우지와 계유는 어유에 비하여 가격이 저렴하고 수입

Table 2. Essential fatty acid requirements (% of dry diet) of fish

| Species              | EFA                 | Larvae & Post larvae | Juveniles/ Growers |
|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Freshwater</b>    |                     |                      |                    |
| Common carp*         | 18:2n-6 and 18:3n-3 |                      | 1.0                |
| Tilapia*             | 18:2n-6             |                      | 0.5                |
| Rainbow trout*       | 18:3n-3             |                      | 1.0                |
|                      | n-3 HUFA            | DHA essential ?      | 0.4~0.5            |
| Channel catfish*     | 18:3n-3             |                      | 1.0~2.0            |
| <b>Marine</b>        |                     |                      |                    |
| Yellowtail**         | DHA and/or EPA      |                      | 2.0                |
|                      | DHA                 | 1.4~2.6              |                    |
|                      | EPA                 | 3.7                  |                    |
| Gilthead sea bream** | DHA and/or EPA      | 1.5~5.5              | 0.5~1.9            |
| Korean rockfish**    | EPA or DHA          |                      | 0.9~1.0            |
| Flounder***          | n-3 HUFA            |                      | 0.8~1.0            |
| Turbot*              | n-3 HUFA            | DHA required ?       | 0.8                |
| Striped jack**       | DHA                 | 1.6~2.2              |                    |
| Red drum**           | DHA+EPA             |                      | 0.3~0.6            |

\*NRC, 1993; \*\*Kaushik, 2004, \*\*\*Kim and Lee, 2004

에 의존하지 않으며, 자국에서 생산하여 공급이 가능함으로써 어유에 비하여 이점을 가지고 있으나, 넙치의 필수지방산인 EPA와 DHA를 함량이 소량이거나 거의 없는 상태이다. 하지만 넙치 사료 내 EPA와 DHA 요구량을 설정해 줌으로써 최소한의 어유를 이용하여 넙치에서 어유를 대체 하고자 한다. 이때 어유를 동물성유인 우지 및 계유로 대체시 어유의 가격은 kg당 1,900원 인점을 감안하면, 우지 및 계유의 경우 kg당 1,100원 및 1,300원으로 어유에 비하여 600원 ~ 800원정도의 가격을 절감 할 수 있을 것이다(Personal communication).

넙치는 전세계적으로 고급 양식 어종으로 FAO(2008)의 자료에 의하면 우리나라, 일본 및 중국이 주 생산 국가이며, 우리나라의 경우 2004년 이후 연간 약 4만여톤을 생산하여 넙치 양식 생산량을 꾸준히 유지하고 있는 반면에, 중국의 경우 2003년 이후부터 넙치를 생산하기 시작하여 2006년 현재 6만 8천톤으로 전세계적으로 넙치 양식 생산량에 있어서 우위에 있다(Fig. 1).

국내 해산어 주요종인 넙치의 양식 생산량이 우위를 차지하고 있는 반면에 넙치용 배합사료의 사용량은 연간 1만5천(넙치 EP 및 분말 포함) 톤으로 국내 양어사료 생산량의 약 18%를 차지하여 배합사료 사용량에 있어서는 우위를 차지하지 못하고 있는 실정이다(Table 3). 하지만 생사료 대신 배합사료 사용량이 증가된다면 우위를 차지할 수 있는 어종으로 가능성이 큰 어종이다. 또한 넙치용 배합사료 개발을 위한 연구가 연구되어 있으며(Kim et al., 2002; Lee et al., 2002; Wang et al., 2002; Cui, 2003), 지속적으로 연구가 되어지고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 넙치에 있어서 필수지방산인 EPA와 DHA의 각각의 요구량 및 EPA:DHA의 비율을 일정하게 설정하고 육상 동물성유인 우지와 계유를 이용하여 어유 대체원으로써 이용가능성을 확인하고 우지와 계유 이용시 경제적 가치 평가를 통해 그 이용 가능성을 확인하는데 그 목적이 있다.

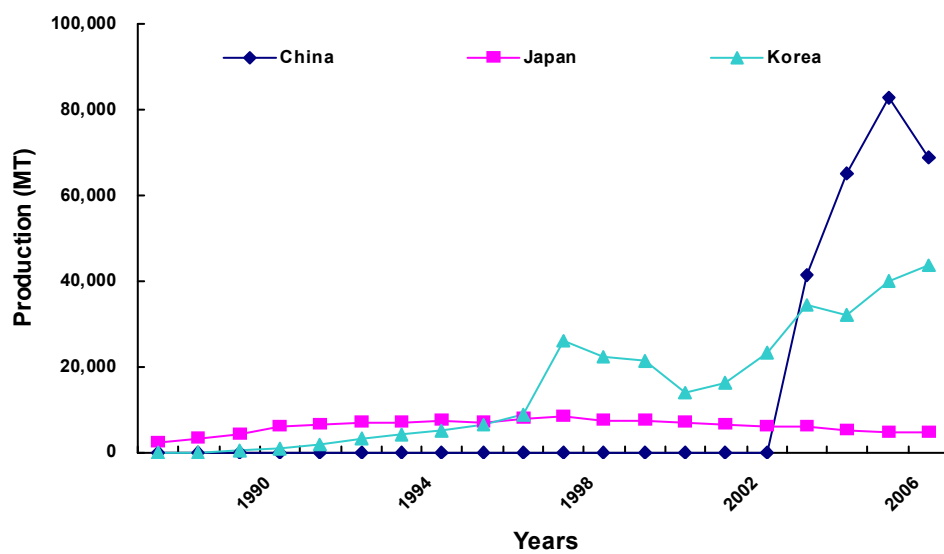


Fig. 1. World production of olive flounder(FAO, 2008).



Table 3. Fish feeds production in Korea(2006~2007)

| Species           | 2006           | 2007          |
|-------------------|----------------|---------------|
| <b>Freshwater</b> |                |               |
| Eel               | 4,657          | 6,952         |
| Rainbow trout     | 4,243          | 4,352         |
| Catfish           | 7,609          | 11,469        |
| Loach             | 4,240          | 2,452         |
| Snail             | 3,269          | 5,592         |
| Others            | 2,395          | 2,900         |
| Sub-total         | 26,413         | 33,717        |
| <b>Marine</b>     |                |               |
| Flounder EP       | 6,684          | 7,512         |
| Flounder powder   | 9,904          | 9,657         |
| Rockfish EP       | 20,616         | 13,940        |
| Rockfish powder   | 446            | 47            |
| Seabream          | 5,195          | 3,871         |
| Shrimp            | 6,585          | 5,733         |
| Mullet            | 15,550         | 15,111        |
| Gizzard shad      | 8,563          | 6,107         |
| Others            | 733            | 229           |
| Sub-total         | 74,276         | 62,207        |
| <b>Total</b>      | <b>100,690</b> | <b>95,924</b> |

\*Domestic aqua-feeds sale result.

## 제 2 장 넙치에 있어서 DHA와 EPA 요구량 설정 연구

### 제 1 절 재료 및 방법

#### 1. DHA 요구량 설정 연구

##### 1) 실험어 사육관리

넙치 치어의 실험어는 전라남도 고흥에서 부경대학교 사료영양학실험실내 사육실로 운반하여 250 ℓ 수조에서 실험 환경에 적응할 수 있도록 순치 하였으며, 실험시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 기초사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육후, 평균무게  $3.51 \pm 0.12$  g (mean $\pm$ SD) 인 넙치 치어를 40 ℓ 사각수조에 각각 15마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였다. 각 실험수조는 반순환여과식으로 유수량은 실험 시작시에 1.0 ℓ/min 되도록 조절하였다. 각 수조에 산소 공급을 위해 블로워로 포기하였으며, 실험기간 동안 수온은  $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 전 실험기간 동안에 비교적 안정적인 수온을 유지하였으며, 인위적으로 수온 조절하였다. 사육수의 염분은  $32 \pm 1$  ppt, 용존산소(DO)는 6.3~6.7 mg/ℓ의 범위였다. 사료공급량은 전 실험기간 동안 어체중의 3~5%(건물기준)로 1일 2회(오전 10시, 오후 4시) 공급하였으며, 실험은 8주간 실시하였다.

##### 2) 실험사료 설계

넙치 실험에 사용된 실험사료의 조성과 일반성분은 Table 4에 나타내었다. 실험사료는 단백질원으로는 어분(fish meal)에 포함되어 있는 지방을 제거하기 위하여 클로로포름(chloroform)과 메탄올(methanol) 2:1로 3회 탈지한 후 탈지 어분을 이용하였으며, 그 외 카제인(casein)을 사용하였다. 지질원으로

코코넛오일(coconut oil) 및 DHA(docosahexaenoic acid) 89%를 이용하였으며, 탄수화물원으로 덱스트린(dextrin), 밀가루(wheat meal)을 사용하였다. 비타민과 미네랄 프리믹스처를 이용하여 적정량의 비타민과 미네랄을 첨가하여 주었고, 이 외에 사료첨가제로서 콜린클로라이드 50%를 사용하였다. 실험사료는 사료내 총 DHA 함량을 기준으로하여 DHA 0%를 대조구로하여 DHA 0.5%, DHA 0.75%, DHA 1.0%, DHA 1.25%, DHA 1.5%, DHA 2.0%, EPA 0.5%+DHA 0.5%, EPA 0.75%+DHA 0.75% 및 EPA 1.0%+DHA 1.0%로 하여 총 10개 실험사료로 조단백 50%, 조지방 11.0% 및 총에너지는 16.8 kJ/g 로 제작하여 평가하였다. 모든 실험사료는 원료를 혼합한 후 펠렛제조기 압출·성형하였으며, 입자크기는 sieve로 고르게 친 후, 밀봉하여 -20℃ 냉동고에 보관하며 사용하였다.

### 3) 어체측정

어체 측정은 2주 간격으로 실시하였으며, 성장률을 측정하기 위하여 24시간 절식시킨 후 MS-222 (200ppm)로 마취시켜 전체무게를 측정하였다. 실험 종료 후, 증중율(percent weight gain, %), 일간성장률(specific growth rate, %/day), 단백질전환효율(protein efficiency ratio), 사료효율(feed efficiency, %) 및 생존율(survival rate, %)을 조사하였다. 상기 측정 항목들의 계산식은 다음과 같다.

- Weight gain (WG, %) = (final wt. - initial wt.) × 100 / initial wt.
- Feed efficiency (FE, %) = (wet weight gain / dry feed intake) × 100
- Specific growth rate (SGR, %/day) = (log<sub>e</sub> final wt. - log<sub>e</sub> initial wt.) / days
- Protein efficiency ratio (PER) = (wet weight gain / protein intake)

### 4) 성분분석

① 일반성분 분석 : 실험사료와 각 수조별로 6마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 사용하였으며, AOAC(Association of Official Analytical Chemists, 2000)방법에 따라 수분은 상압가열건조법(135 ℃, 2시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법( $N \times 6.25$ ), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결 건조한 후, soxtec system 1046(Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

② 지방산분석 : 실험사료와 분쇄한 전어체에서 추출한 지방의 methylation은 Metcalfe et al.(1966)의 방법에 의해 분석하였다. 지방산 methylation은 teries silica capillary column을 장착한 gas chromatography(Thermo Finnigan Trace GC; Austin, Texas, USA)에 의해 분석하였다. 캐리어 기체는 질소를 사용하였고, detection은 FID 모드를 사용하였으며 분석조건은 다음과 같다. Instrument: Trace GC gas chromatography, column: quadrex, 30M, bonded carbowax 0.25 mm I.D $\times$ 0.25  $\mu$ m film, cat. No.: 007-CW-30-0.25F, injector temperature: 250℃, Detector temperature: 250℃, flow (gas press): 65 psi. helium, splite: 1:50 도출된 크로마토그램은 분석 프로그램인 peak sample에 의해 분석하였다.

## 5) 통계분석

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1(Analytical Software, St. Paul MN. USA)로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성( $P < 0.05$ )을 검정하였다.

Table 4. Composition and proximate analysis of the seven experimental different diets ( % of dry matter basis)

|                                                   | Diets |                    |                     |                    |                     |                    |                    |
|---------------------------------------------------|-------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
|                                                   | Cont. | DHA <sub>0.5</sub> | DHA <sub>0.75</sub> | DHA <sub>1.0</sub> | DHA <sub>1.25</sub> | DHA <sub>1.5</sub> | DHA <sub>2.0</sub> |
| Defatted fish meal <sup>1</sup>                   |       |                    |                     | 38.0               |                     |                    |                    |
| Casein <sup>2</sup>                               |       |                    |                     | 21.5               |                     |                    |                    |
| Dextrin <sup>2</sup>                              |       |                    |                     | 7.5                |                     |                    |                    |
| Wheat meal <sup>3</sup>                           |       |                    |                     | 17.0               |                     |                    |                    |
| Coconut oil <sup>4</sup>                          | 9.80  | 9.24               | 8.96                | 8.68               | 8.40                | 8.12               | 7.56               |
| DHA <sup>5</sup>                                  | -     | 0.56               | 0.84                | 1.12               | 1.40                | 1.68               | 2.24               |
| Others <sup>6</sup>                               |       |                    |                     | 6.2                |                     |                    |                    |
| <i>Proximately analysis</i> (%, dry matter basis) |       |                    |                     |                    |                     |                    |                    |
| Moisture                                          | 17.8  | 15.6               | 13.4                | 15.6               | 15.0                | 15.9               | 18.2               |
| Crude protein                                     | 50.3  | 50.7               | 50.3                | 50.2               | 50.5                | 50.5               | 51.5               |
| Crude lipid                                       | 13.0  | 11.4               | 11.9                | 11.7               | 11.9                | 11.4               | 11.6               |
| Crude ash                                         | 8.07  | 8.74               | 8.90                | 9.03               | 8.78                | 8.48               | 8.94               |

<sup>1</sup>Fish meal by Kodika Co., Alaska, USA. Defatted with chloroform-methanol mixture (2:1, v/v).

<sup>2</sup>United State Biochemical, Cleveland, OH44122, USA.

<sup>3</sup>Young Nam Flour Mills Co., Busan, Korea.

<sup>4</sup>G-Cube E.P.R. Co. Ltd., Seoul, Korea.

<sup>5</sup>Chemport Inc., Seoul, Korea.

<sup>6</sup>Others : Vitamin mix., Mineral mix., Cellulose, Choline Cl, Vitamin C & E.

Table 5. Fatty acids composition of coconut oil, DHA and EPA

| Fatty acids      | Coconut oil | DHA   | EPA    |
|------------------|-------------|-------|--------|
| 8:0              | 6.55        | -     | -      |
| 10:0             | 5.84        | -     | -      |
| 12:0             | 48.29       | -     | -      |
| 13:0             | 0.03        | -     | -      |
| 14:0             | 18.90       | -     | -      |
| 16:0             | 9.28        | -     | -      |
| 18:0             | 2.73        | -     | -      |
| 24:0             | -           | 3.09  | -      |
| ΣSaturated       | 91.62       | 3.09  | -      |
| 16:1             | 0.02        | -     | -      |
| 18:1 $n$ -9      | 6.74        | -     | -      |
| ΣMonounsaturated | 6.76        | -     | -      |
| 18:2 $n$ -6      | 1.61        | -     | 0.52   |
| 20:4 $n$ -6      | -           | 1.57  | 5.01   |
| 20:5 $n$ -3      | -           | 5.93  | 94.47  |
| 22:6 $n$ -3      | -           | 89.41 | -      |
| ΣPolyunsaturated | 1.61        | 96.91 | 100.00 |

## 2. EPA 요구량 설정 연구

### 1) 실험어 사육관리

넙치 치어의 실험어는 전라남도 고흥에서 부경대학교 사료영양학실험실내 사육실로 운반하여 250 ℓ 수조에서 실험 환경에 적응할 수 있도록 순치 하였으며, 실험시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 기초사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육후, 평균무게  $3.50 \pm 0.10$  g (mean $\pm$ SD) 인 넙치 치어를 40 ℓ 사각수조에 각각 15마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였다. 각 실험수조는 반순환여과식으로 유수량은 실험 시작시에 1.0 ℓ/min 되도록 조절하였다. 각 수조에 산소 공급을 위해 블로워로 포기하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은  $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 전 실험기간 동안에 비교적 안정적인 수온을 유지하였으며, 인위적으로 수온 조절하였다. 사육수의 염분은  $32 \pm 1$  ppt, 용존산소(DO)는 6.3~6.7 mg/ℓ의 범위였다. 사료공급량은 전 실험기간 동안 어체중의 3~5%(건물기준)로 1일 2회(오전 10시, 오후 4시) 공급하였으며, 실험은 8주간 실시하였다.

### 2) 실험사료 설계

넙치 실험에 사용된 실험사료의 조성과 일반성분은 Table 6에 나타내었다. 실험사료는 단백질원으로는 어분(fish meal)에 포함되어 있는 지방을 제거하기 위하여 클로로포름(chloroform)과 메탄올(methanol) 2:1로 3회 탈지한 후 탈지 어분을 이용하였으며, 그 외 카제인(casein)을 사용하였다. 지질원으로 코코넛오일(coconut oil) 및 EPA(eicosapentaenoic acid) 95%를 이용하였으며, 탄수화물원으로 덱스트린(dextrin), 밀가루(wheat meal)를 사용하였다. 비타민과 미네랄 프리믹스처를 이용하여 적정량의 비타민과 미네랄을 첨가하여 주었고, 이 외에 사료첨가제로서 콜린클로라이드 50%를 사용하였다. 실험사료는 사료내 총 EPA 함량을 기준으로하여 EPA 0%를 대조구로하여 EPA 0.5%, EPA

0.75%, EPA 1.0%, EPA 1.25%, EPA 1.5%, EPA 2.0%, EPA 0.5%+DHA 0.5%, EPA 0.75%+DHA 0.75% 및 EPA 1.0%+DHA 1.0% 로하여 총 10개의 실험사료로 조단백 50%, 조지방 11.0% 및 총에너지는 16.8 kJ/g 로 제작하여 평가하였다. 모든 실험사료는 원료를 혼합한 후 펠렛제조기 압출 · 성형하였으며, 입자크기는 sieve로 고르게 친 후, 밀봉하여 -20℃ 냉동고에 보관하며 사용하였다.

### **3) 어체측정**

- 제2절 1과 동일.

### **4) 성분분석**

- 제2절 1과 동일.

### **5) 통계분석**

- 제2절 1과 동일.



Table 6. Composition and proximate analysis of the nine experimental different diets (% of dry matter basis)

|                                                   | Diets |                    |                     |                    |                     |                    |                    |                                   |                                     |                                   |
|---------------------------------------------------|-------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                   | Cont. | EPA <sub>0.5</sub> | EPA <sub>0.75</sub> | EPA <sub>1.0</sub> | EPA <sub>1.25</sub> | EPA <sub>1.5</sub> | EPA <sub>2.0</sub> | E <sub>0.5</sub> D <sub>0.5</sub> | E <sub>0.75</sub> D <sub>0.75</sub> | E <sub>1.0</sub> D <sub>1.0</sub> |
| Defatted fish meal <sup>1</sup>                   | 38.0  |                    |                     |                    |                     |                    |                    |                                   |                                     |                                   |
| Casein <sup>2</sup>                               | 21.5  |                    |                     |                    |                     |                    |                    |                                   |                                     |                                   |
| Dextrin <sup>2</sup>                              | 7.5   |                    |                     |                    |                     |                    |                    |                                   |                                     |                                   |
| Wheat meal <sup>3</sup>                           | 17.0  |                    |                     |                    |                     |                    |                    |                                   |                                     |                                   |
| Coconut oil <sup>4</sup>                          | 9.8   | 9.27               | 9.01                | 8.74               | 8.48                | 8.21               | 7.68               | 8.75                              | 8.22                                | 7.69                              |
| EPA <sup>5</sup>                                  | -     | 0.53               | 0.79                | 1.06               | 1.32                | 1.59               | 2.12               | 0.49                              | 0.74                                | 0.99                              |
| DHA <sup>5</sup>                                  | -     | -                  | -                   | -                  | -                   | -                  | -                  | 0.56                              | 0.84                                | 1.12                              |
| Others <sup>6</sup>                               | 6.2   |                    |                     |                    |                     |                    |                    |                                   |                                     |                                   |
| <i>Proximately analysis(% , dry matter basis)</i> |       |                    |                     |                    |                     |                    |                    |                                   |                                     |                                   |
| Moisture                                          | 17.8  | 16.9               | 14.4                | 17.6               | 17.9                | 17.9               | 19.1               | 16.0                              | 15.5                                | 18.6                              |
| Crude protein                                     | 50.3  | 50.2               | 49.5                | 50.3               | 50.9                | 50.9               | 51.6               | 50.8                              | 50.9                                | 51.6                              |
| Crude lipid                                       | 11.1  | 11.9               | 11.2                | 11.4               | 11.3                | 11.1               | 10.7               | 11.2                              | 10.8                                | 12.3                              |
| Crude ash                                         | 8.07  | 8.52               | 8.80                | 8.91               | 9.00                | 8.94               | 9.13               | 8.55                              | 8.83                                | 8.73                              |

<sup>1</sup>Fish meal by Kodika Co., Alaska, USA. Defatted with chloroform-methanol mixture (2:1, v/v).

<sup>2</sup>United State Biochemical, Cleveland, OH44122, USA.

<sup>3</sup>Young Nam Flour Mills Co., Busan, Korea.

<sup>4</sup>G-Cube E.P.R. Co. Ltd., Seoul, Korea.

<sup>5</sup>Chemport Inc., Seoul, Korea.

<sup>6</sup>Others : Vitamin mix., Mineral mix., Cellulose, Choline Cl, Vitamin C & E.



## 제 2 절 결과

### 1. DHA 요구량 설정 연구

8주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 Table 7에 나타내었다. 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 DHA를 1.25% 및 2.0%를 첨가하여 공급한 실험구가 대조구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 대조구와 DHA 0.5%, 0.75%, 1.0% 및 1.5% 구간에 있어서 유의한 차이가 없었다. 또한 DHA 0.5%를 첨가한 실험구가 DHA 1.0%, 1.25%, 1.5% 및 2.0%에 있어서 유의한 차이가 있었다( $P<0.05$ ). 사료효율(FE)과 단백질전환효율(PER)에 있어서 대조구가 DHA를 1.25%, 1.5% 및 2.0%를 첨가하여 공급한 실험구에 비하여 유의하게 낮은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), DHA 0.5%, 0.75% 및 1.0%를 공급한 실험구에 있어서는 유의한 차이가 없었다. 하지만 DHA를 0.5% 첨가하여 공급한 실험구가 DHA 1.0%, 1.25%, 1.5% 및 2.0%에 있어서 유의한 차이가 있었다( $P<0.05$ ). 생존율에 있어서는 대조구와 다른 실험구간에 유의한 차이가 없었으나, DHA를 1.0% 첨가하여 공급한 실험구가 DHA를 1.25% 첨가하여 공급한 실험구보다 유의하게 낮은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 간중량지수(HSI)에 있어서는 전 실험구간에 유의한 차이가 없었으며, 0.93~1.36 수준을 나타내었다.

Broken line 분석을 통한 최대 성장을 위한 DHA 요구량은 1.26%으로 나타났으며, Second order polynomial 분석을 통한 최대 성장을 위한 DHA 요구량은 1.68%으로 나타났(Fig. 6, 7).

Table 7. Weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER) and survival rate(%) of juvenile olive flounder fed the seven experimental different diets for 8 weeks<sup>1</sup>

|                    | Diets <sup>2</sup> |                    |                     |                     |                     |                    |                    | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
|                    | Cont.              | DHA <sub>0.5</sub> | DHA <sub>0.75</sub> | DHA <sub>1.0</sub>  | DHA <sub>1.25</sub> | DHA <sub>1.5</sub> | DHA <sub>2.0</sub> |                         |
| WG(%) <sup>4</sup> | 202 <sup>bc</sup>  | 188 <sup>c</sup>   | 210 <sup>abc</sup>  | 218 <sup>ab</sup>   | 238 <sup>a</sup>    | 230 <sup>ab</sup>  | 235 <sup>a</sup>   | 4.74                    |
| SGR <sup>5</sup>   | 1.83 <sup>bc</sup> | 1.70 <sup>c</sup>  | 1.90 <sup>abc</sup> | 1.98 <sup>ab</sup>  | 2.16 <sup>a</sup>   | 2.08 <sup>ab</sup> | 2.13 <sup>a</sup>  | 0.04                    |
| FE(%) <sup>6</sup> | 75.7 <sup>cd</sup> | 72.0 <sup>d</sup>  | 79.3 <sup>bcd</sup> | 83.4 <sup>abc</sup> | 89.5 <sup>a</sup>   | 87.1 <sup>ab</sup> | 87.9 <sup>ab</sup> | 1.69                    |
| PER <sup>7</sup>   | 1.97 <sup>cd</sup> | 1.88 <sup>d</sup>  | 2.07 <sup>bcd</sup> | 2.17 <sup>abc</sup> | 2.33 <sup>a</sup>   | 2.27 <sup>ab</sup> | 2.29 <sup>ab</sup> | 0.04                    |
| Survival rate(%)   | 97.8 <sup>ab</sup> | 93.3 <sup>ab</sup> | 91.1 <sup>ab</sup>  | 88.9 <sup>b</sup>   | 100.0 <sup>a</sup>  | 93.3 <sup>ab</sup> | 93.3 <sup>ab</sup> | 1.29                    |
| HSI <sup>8</sup>   | 1.23               | 1.13               | 1.24                | 1.05                | 1.24                | 0.93               | 1.36               | 0.05                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Control; Coconut oil 100%, DHA<sub>0.5</sub>; Coconut oil 99.5%+DHA 0.5%, DHA<sub>0.75</sub>; Coconut oil 99.25%+DHA 0.75%, DHA<sub>1.0</sub>; Coconut oil 99.0%+DHA 1.0%, DHA<sub>1.25</sub>; Coconut oil 98.75%+DHA 1.25%, DHA<sub>1.5</sub>; Coconut oil 98.5%+DHA 1.5%, DHA<sub>2.0</sub>; Coconut oil 98.0%+DHA 2.0%

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean : SD/ $\sqrt{n}$ .

<sup>4</sup>Weight gain (%) : [(final wt.(g) - initial wt.(g)) / initial wt.(g)]  $\times$  100.

<sup>5</sup>Specific growth rate : [loge (final wt.) - loge (initial wt.)/days]  $\times$  100.

<sup>6</sup>Feed efficiency (%) : (wet weight gain / dry feed intake)  $\times$  100.

<sup>7</sup>Protein efficiency ratio : wet wt. gain / protein intake.

<sup>8</sup>Hepatosomatic index(HSI): (liver weight /body weight)  $\times$  100.

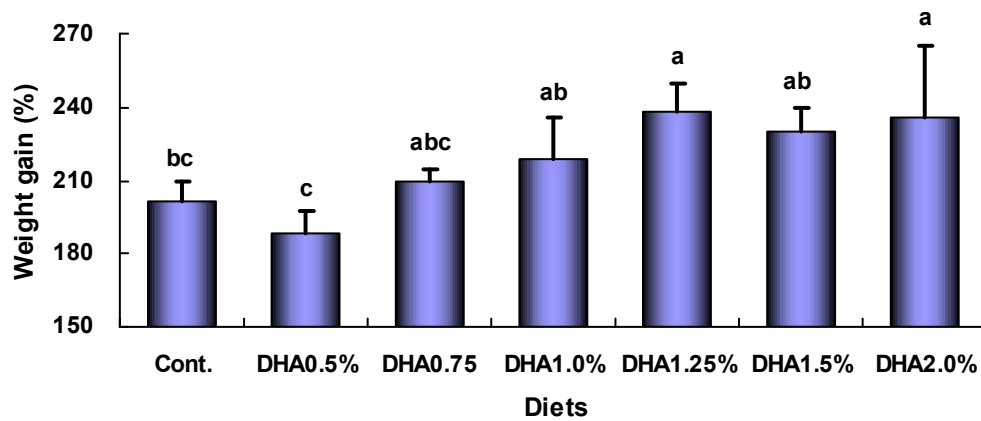


Fig. 2. Weight gain(WG, %) of olive flounder fed the different levels of DHA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ).

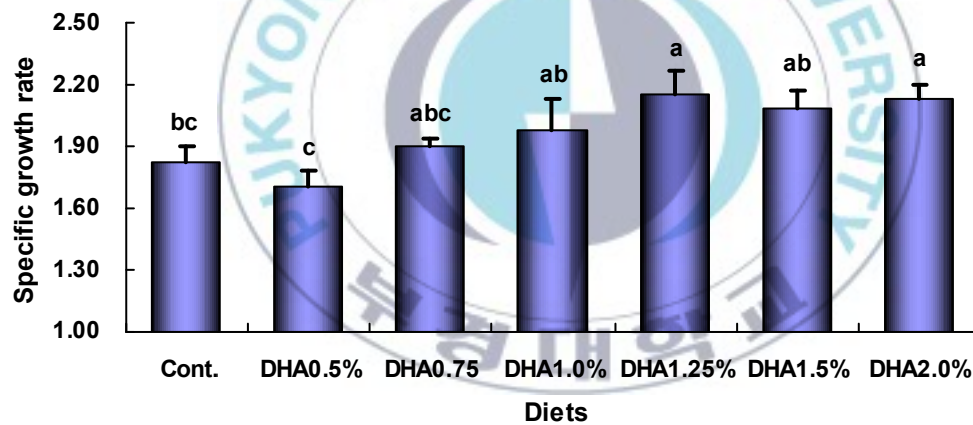


Fig. 3. Specific growth rate (SGR) of olive flounder fed the different levels of DHA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ).

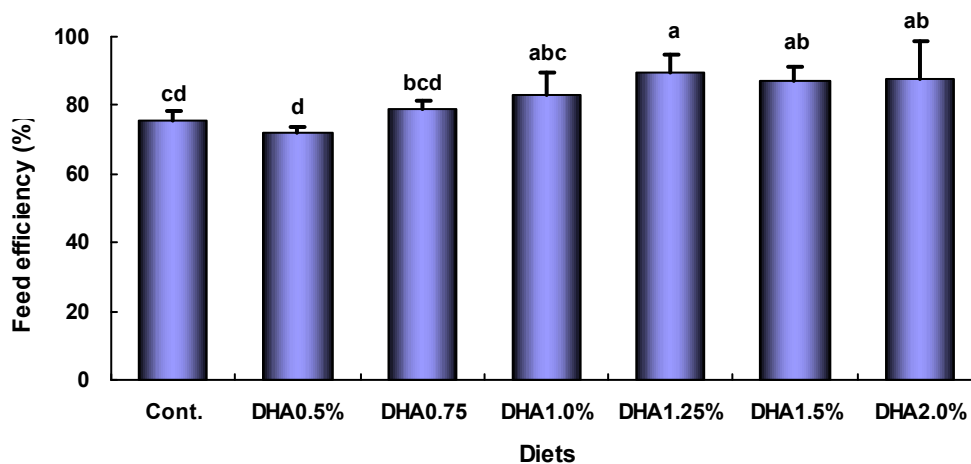


Fig. 4. Feed efficiency (FE, %) of olive flounder fed the different levels of DHA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

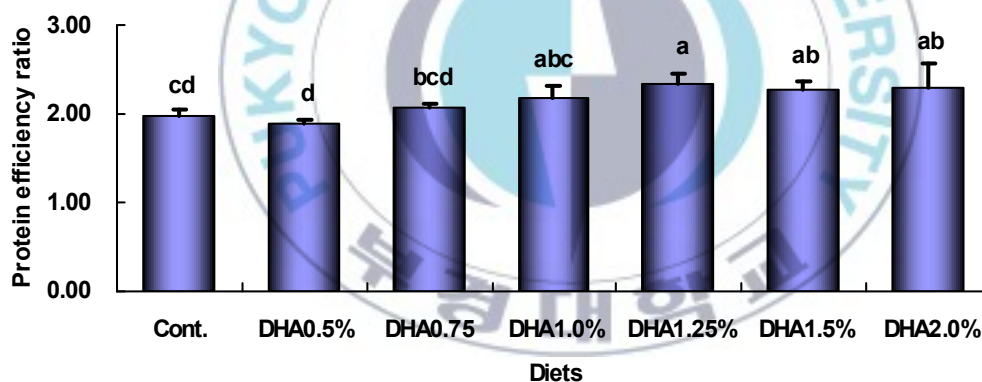


Fig. 5. Protein efficiency ratio (PER) of olive flounder fed the different levels of DHA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

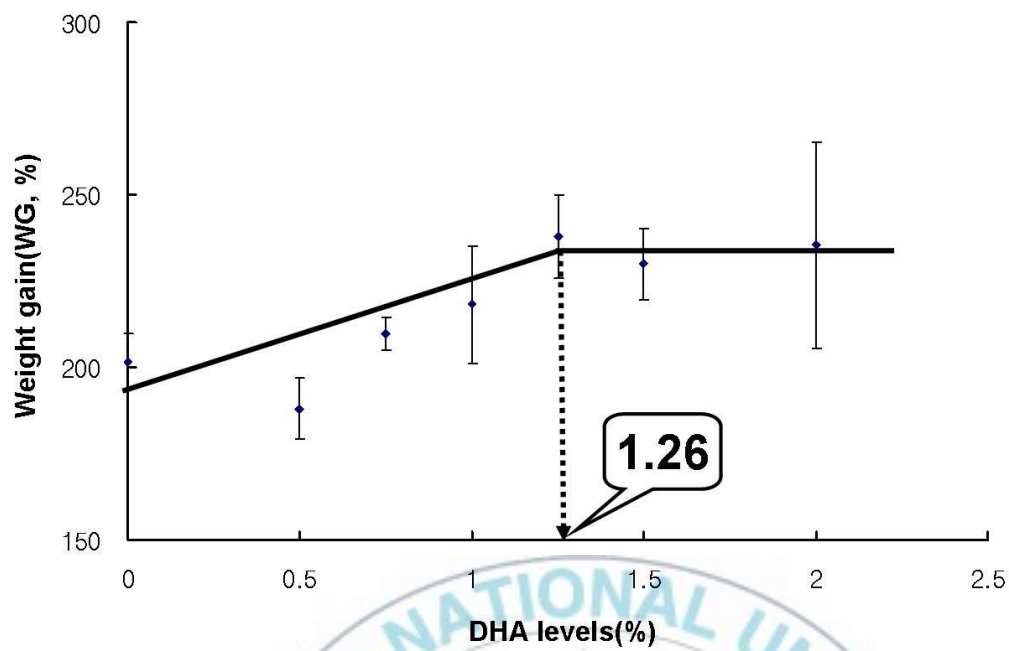


Fig. 6. Broken line analysis for weight gain (WG, %) base on the different dietary DHA levels.

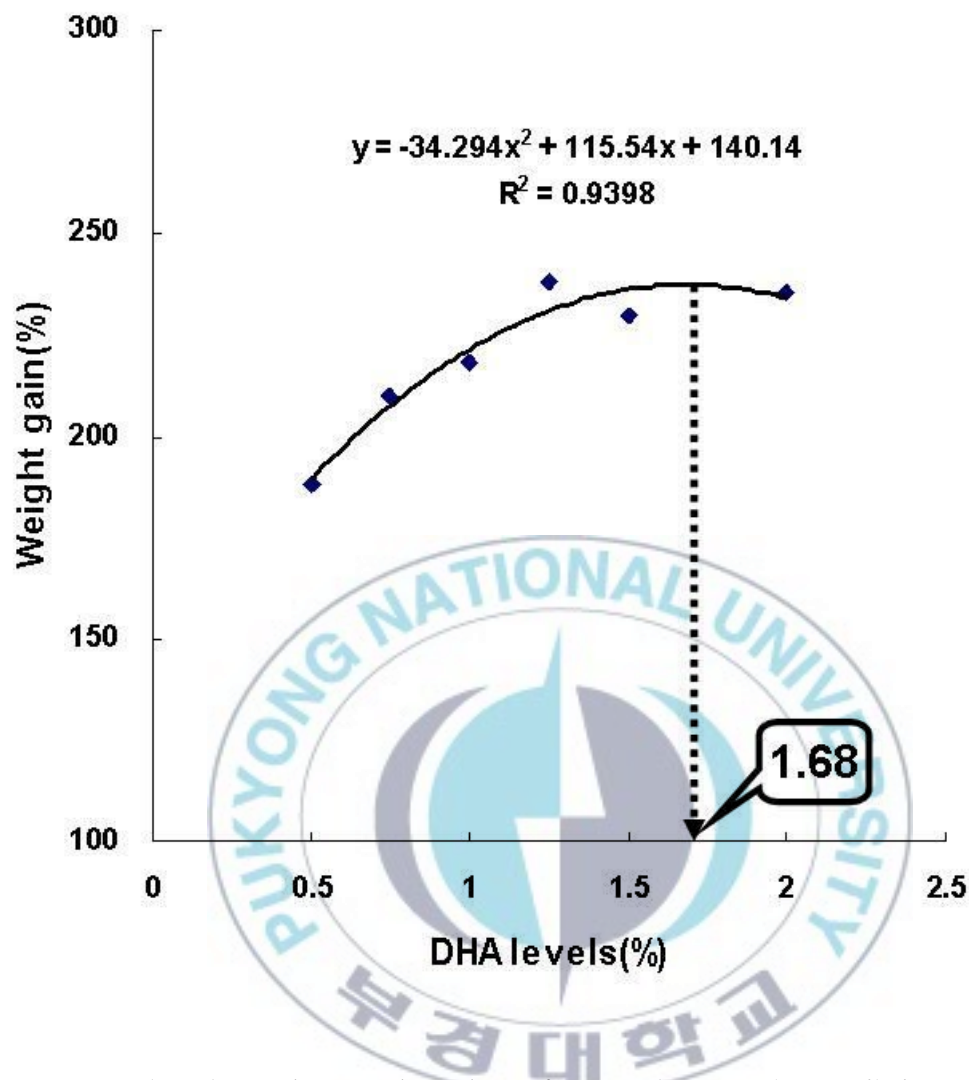


Fig. 7. Second order polynomial analysis for weight gain (WG, %) base on the different dietary DHA levels.

## 2. EPA 요구량 설정 연구

8주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 Table 8에 나타내었다. 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 대조구가 다른 실험구간에 있어서 유의하게 낮은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 또한 EPA+DHA를 각각 0.5%, 0.75% 및 1.0%를 첨가하여 공급한 실험구보다 유하게 낮은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 사료내 EPA 함량이 증가할 수록 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. EPA+DHA를 각각 1.0%씩 첨가하여 공급한 실험구가 다른 실험구에 비하여 가장 높은 값을 나타내었다. 또한 EPA가 1.25% 수준을 넘어설 때부터 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)이 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 사료효율(FE)과 단백질전환효율(PER)에 있어서 또한 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)과 유사한 경향을 보였으며, 대조구가 EPA 0.5%를 첨가하여 공급한 실험구를 제외한 구에 있어서 유의하게 낮은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). EPA 함량이 1.25% 수준까지 증가하는 경향을 보였으나 그후부터 감소하는 경향을 확인 할수 있었다. EPA와 DHA를 각각 동일한 수준으로 첨가한 실험구간에 있어서는 EPA와 DHA를 각각 0.75%씩 첨가한 실험구가 0.5% 및 1.0%를 첨가하여 공급한 실험구보다 증체율(WG)에 있어서 유의하게 높은 값을 나타내었으며, 일간성장율(SGR) 또한 유사한 경향을 나타내었다( $P<0.05$ ). 사료효율(FE)과 단백질 전환효율(PER)에 있어서는 EPA와 DHA를 각각 0.5%를 첨가하여 공급한 실험구가 EPA와 DHA를 각각 0.75%를 첨가하여 공급한 실험구보다 유의하게 낮은 값을 나타내었으나( $P<0.05$ ), EPA와 DHA를 각각 1.0%를 첨가하여 공급한 실험구와는 유의한 차이가 없었다. 생존율과 간중량지수(HSI)에 있어서는 전 실험구간에 유의한 차이가 없었으며, 생존율의 경우 91.1~97.8%를 나타내었으며, 간중량지수(HSI)에 있어서는 0.95~1.39 수준을 나타내었다.

Broken line 분석을 통한 최대 성장을 위한 EPA 요구량은 1.10%으로 나타났

으며, Second order polynomial 분석을 통한 최대 성장을 위한 EPA 요구량은 1.59%으로 나타났다(Fig. 12, 13).



Table 8. Weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER) and survival rate(%) of juvenile olive flounder fed the nine experimental different diets for 8 weeks<sup>1</sup>

|                     | Diets <sup>2</sup> |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                                   |                                     |                                   | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
|                     | Cont.              | EPA <sub>0.5</sub> | EPA <sub>0.75</sub> | EPA <sub>1.0</sub>  | EPA <sub>1.25</sub> | EPA <sub>1.5</sub>  | EPA <sub>2.0</sub>  | E <sub>0.5</sub> D <sub>0.5</sub> | E <sub>0.75</sub> D <sub>0.75</sub> | E <sub>1.0</sub> D <sub>1.0</sub> |                         |
| WG (%) <sup>4</sup> | 191 <sup>g</sup>   | 217 <sup>f</sup>   | 242 <sup>e</sup>    | 257 <sup>de</sup>   | 306 <sup>b</sup>    | 271 <sup>cd</sup>   | 266 <sup>cd</sup>   | 283 <sup>c</sup>                  | 332 <sup>a</sup>                    | 307 <sup>b</sup>                  | 7.78                    |
| SGR <sup>5</sup>    | 1.73 <sup>g</sup>  | 1.97 <sup>f</sup>  | 2.20 <sup>e</sup>   | 2.33 <sup>de</sup>  | 2.77 <sup>b</sup>   | 2.46 <sup>cd</sup>  | 2.41 <sup>cd</sup>  | 2.56 <sup>c</sup>                 | 3.00 <sup>a</sup>                   | 2.78 <sup>b</sup>                 | 0.07                    |
| FE (%) <sup>6</sup> | 78.4 <sup>f</sup>  | 88.1 <sup>ef</sup> | 98.0 <sup>de</sup>  | 103.7 <sup>cd</sup> | 124.0 <sup>ab</sup> | 109.3 <sup>cd</sup> | 108.2 <sup>cd</sup> | 114.0 <sup>bc</sup>               | 134.3 <sup>a</sup>                  | 123.5 <sup>ab</sup>               | 3.18                    |
| PER <sup>7</sup>    | 1.89 <sup>f</sup>  | 2.13 <sup>ef</sup> | 2.37 <sup>de</sup>  | 2.51 <sup>cd</sup>  | 3.00 <sup>ab</sup>  | 2.64 <sup>cd</sup>  | 2.61 <sup>cd</sup>  | 2.75 <sup>bc</sup>                | 3.24 <sup>a</sup>                   | 2.98 <sup>ab</sup>                | 0.08                    |
| Survival rate (%)   | 95.6               | 93.3               | 95.6                | 97.8                | 95.6                | 95.6                | 93.3                | 97.8                              | 93.3                                | 91.1                              | 1.04                    |
| HSI <sup>8</sup>    | 1.02               | 1.13               | 1.11                | 1.31                | 1.19                | 1.27                | 1.39                | 0.95                              | 1.31                                | 1.06                              | 0.05                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Control; EPA 0%, EPA<sub>0.5</sub>; Coconut oil 99.5%+EPA 0.5%, EPA<sub>0.75</sub>; Coconut oil 99.25%+EPA 0.75%, EPA<sub>1.0</sub>; Coconut oil 99.0%+EPA 1.0%, EPA<sub>1.25</sub>; Coconut oil 98.75%+EPA 1.25%, EPA<sub>1.5</sub>; Coconut oil 98.5%+EPA 1.5%, EPA<sub>2.0</sub>; Coconut oil 98.0%+EPA 2.0%, E<sub>0.5</sub>D<sub>0.5</sub>; Coconut oil 99.0%+EPA 0.5%+DHA 0.5%, E<sub>0.75</sub>D<sub>0.75</sub>; Coconut oil 98.5.0%+EPA 0.75%+DHA 0.75%, E<sub>1.0</sub>D<sub>1.0</sub>; Coconut oil 98.0%+EPA 1.0%+DHA 1.0%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean : SD/ $\sqrt{n}$ .

<sup>4</sup>Weight gain (WG, %): [(final wt.(g) - initial wt.(g)) / initial wt.(g)]  $\times$  100.

<sup>5</sup>Specific growth rate:  $[\log_e (\text{final wt.}) - \log_e (\text{initial wt.}) / \text{days}] \times 100$ .

<sup>6</sup>Feed efficiency (FE, %):  $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$ .

<sup>7</sup>Protein efficiency ratio (PER):  $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}$ .

<sup>8</sup>Hepatosomatic index (HSI):  $(\text{liver weight} / \text{body weight}) \times 100$ .



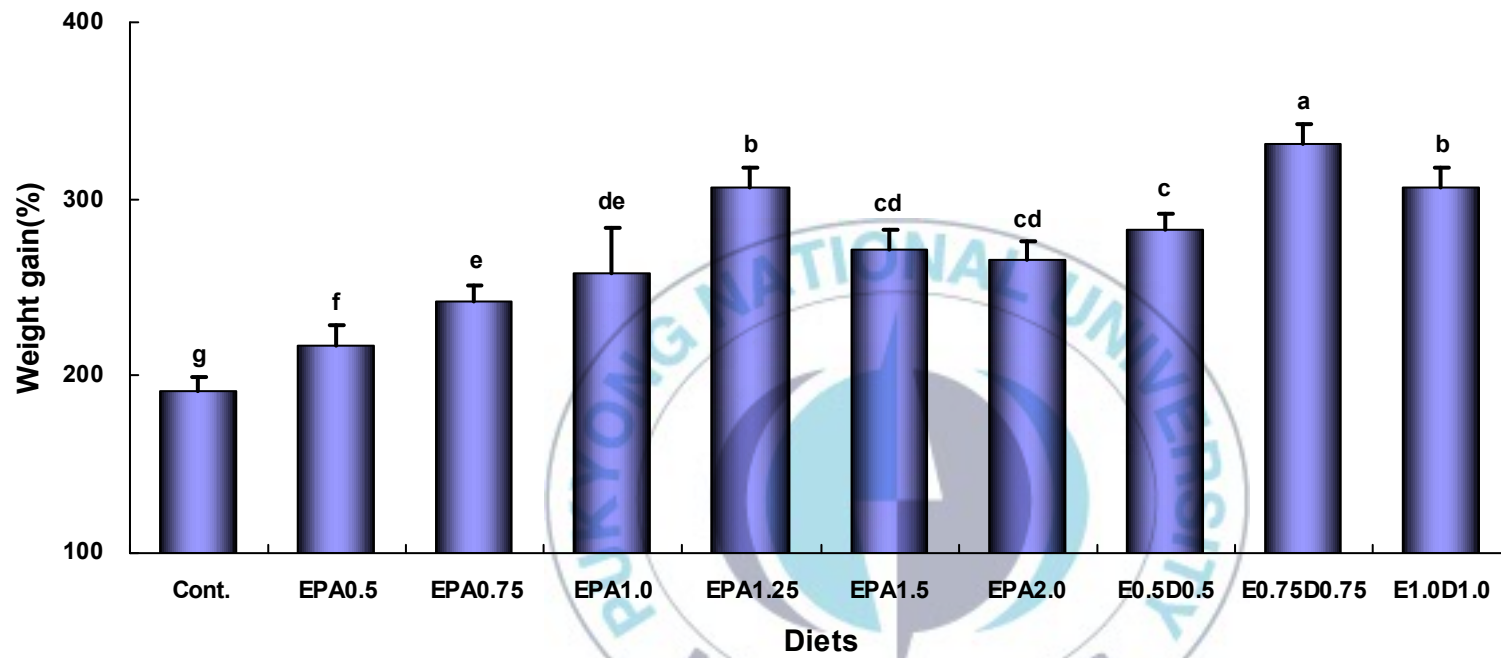


Fig. 8. Weight gain (WG, %) of olive flounder fed the different levels of EPA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

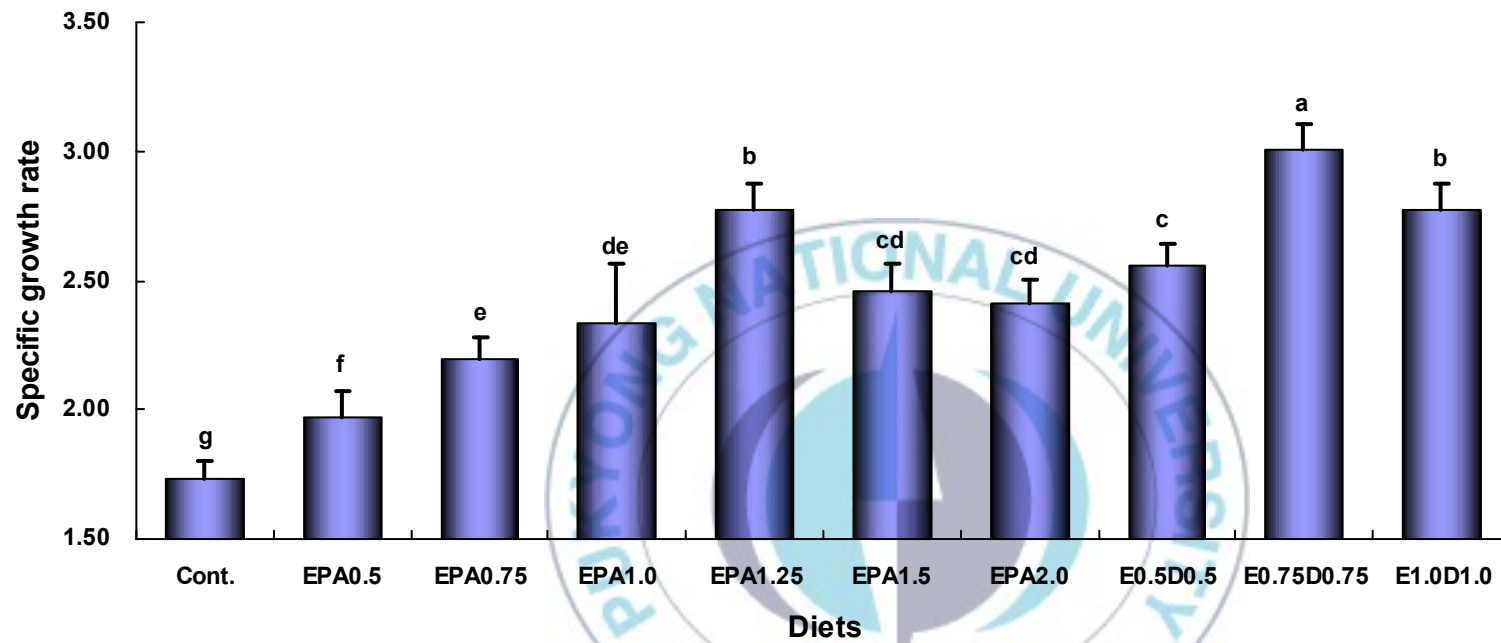


Fig. 9. Specific growth rate (SGR) of olive flounder fed the different levels of EPA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ).

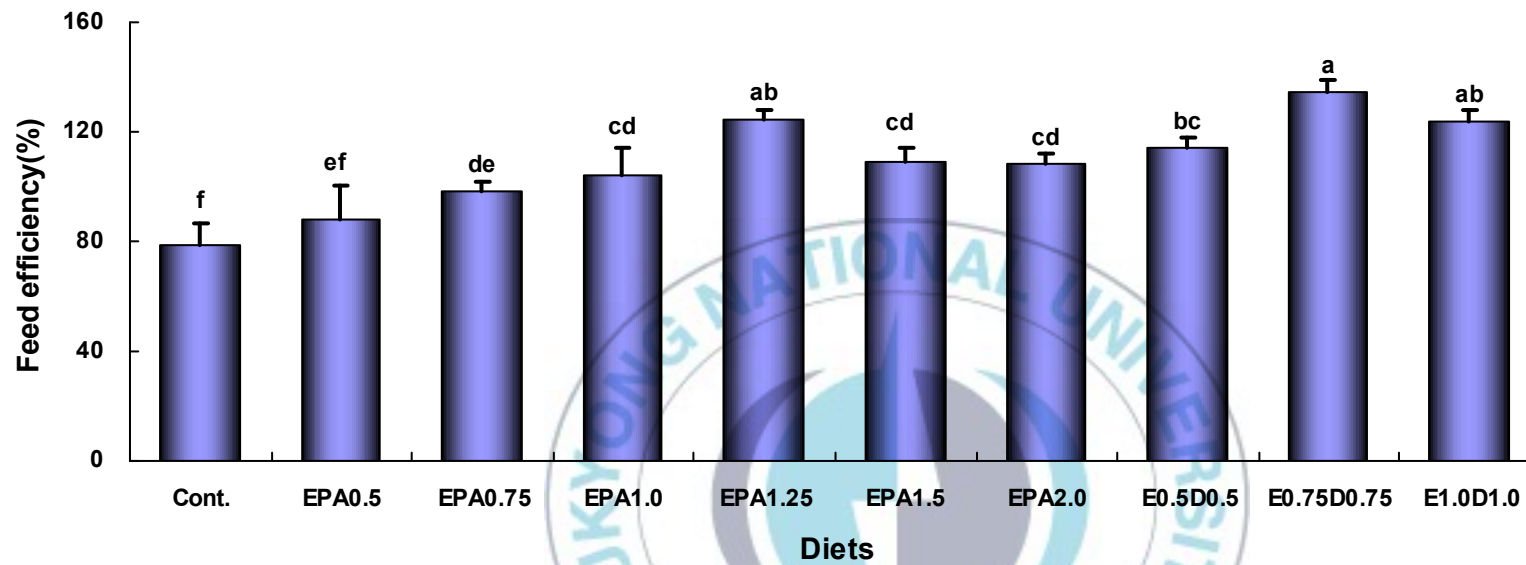


Fig. 10. Feed efficiency (FE, %) of olive flounder fed the different levels of EPA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P<0.05$ ).

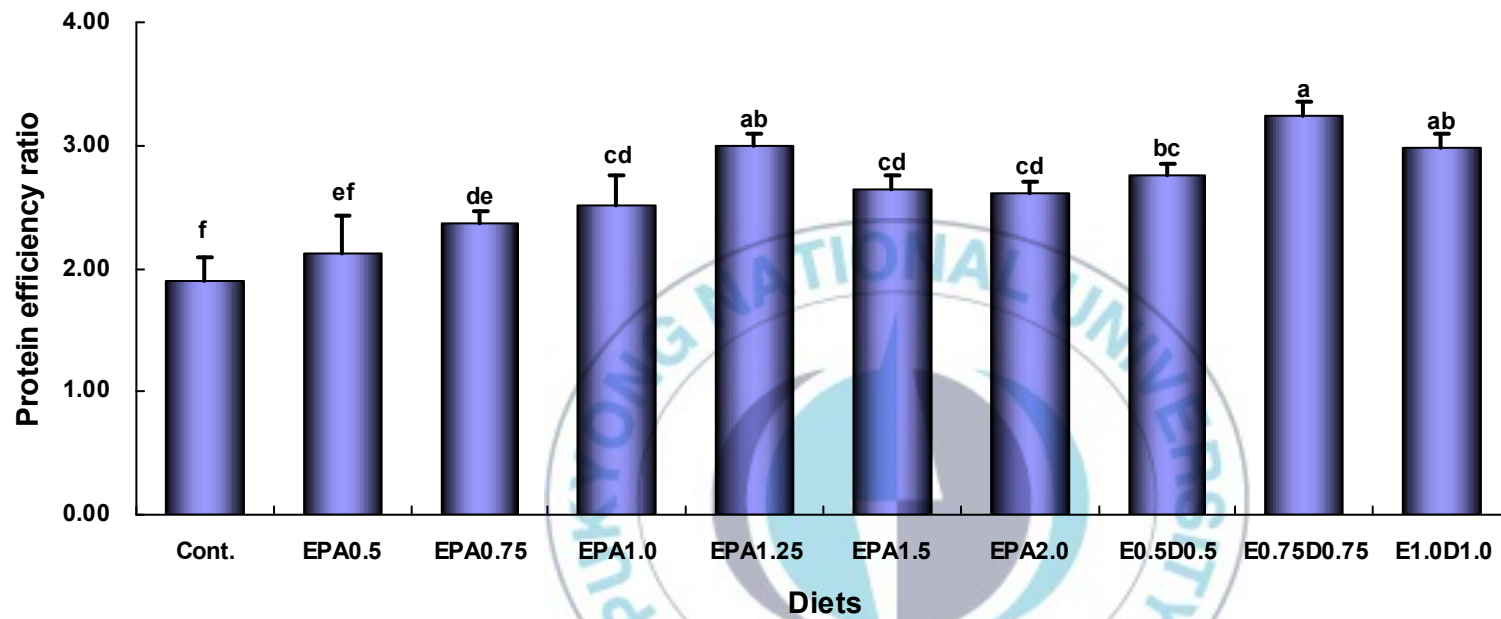


Fig. 11. Protein efficiency ratio (PER) of olive flounder fed the different levels of EPA for 8 weeks. Values are means from triplicate groups where the bar have different superscript are significantly different ( $P < 0.05$ ).

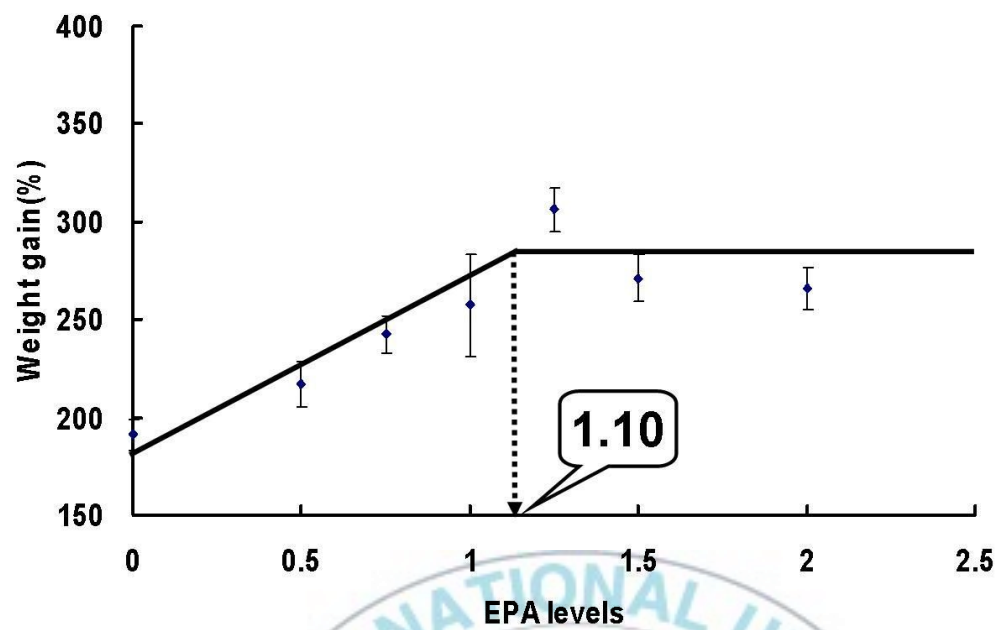


Fig. 12. Broken line analysis for weight gain (WG, %) base on the different dietary EPA levels.

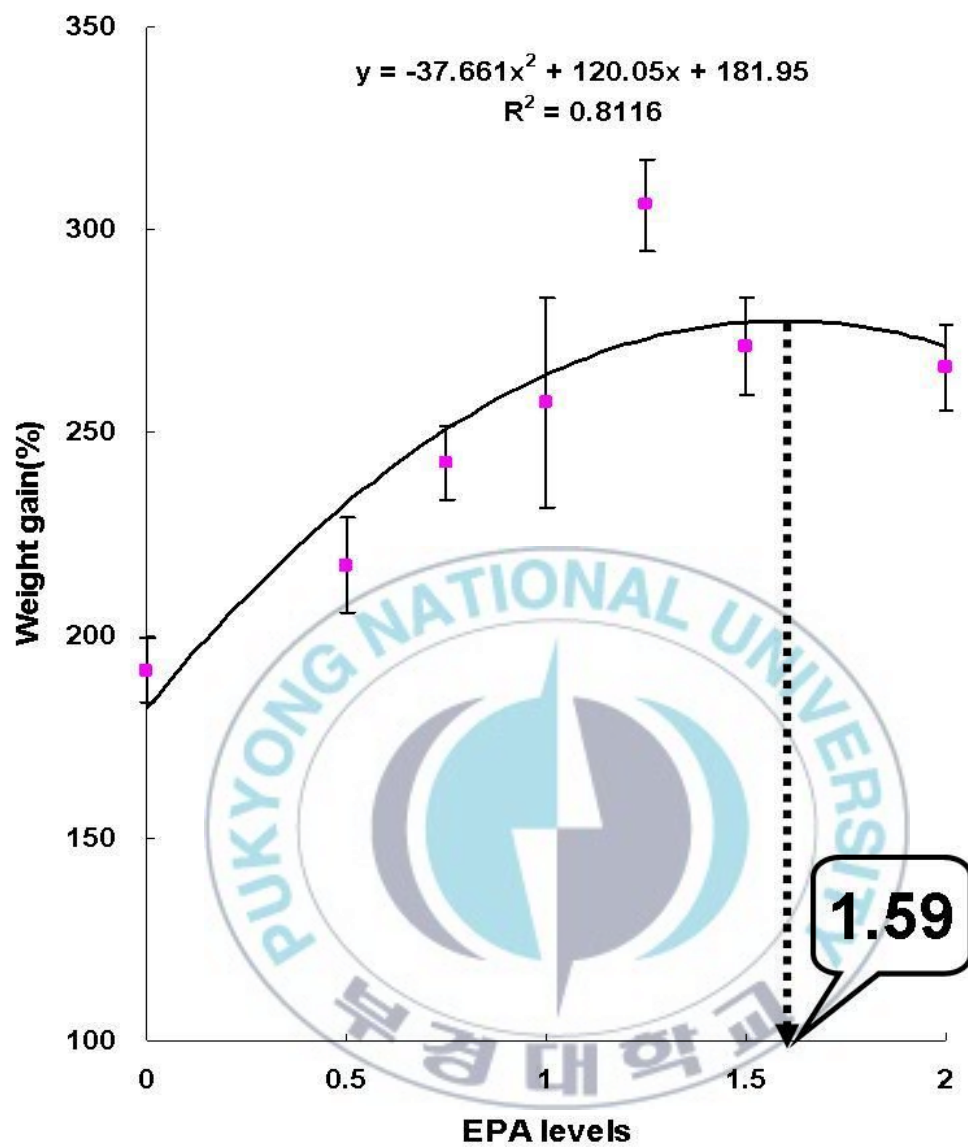


Fig. 13. Second order polynomial analysis for weight gain (WG, %) base the different dietary EPA levels.

### 제 3 절 고찰

#### 1. DHA 요구량 설정 연구

본 실험에서 broken line 분석과 second order polynomial 분석 결과 치어기 넙치 사료내 적정 DHA 요구량은 1.26%보다는 높아야 하지만, 1.68% 수준이면 충분할 것으로 자어기 및 후기자어기의 방어에 있어서 1.4~2.6%과 전갱이에 있어서의 1.6~2.2% 보다 낮은 값을 나타내었으나 대구의 1%보다는 높게 나타났다(Watanabe et al., 1989; Izquierdo, 1996; Zheng et al., 1996). Broken-line 분석은 적정 요구량이 증가되는 수준에서 실제 영양소 요구량 보다 앞쪽에서 요구되어져 최소 요구량이상으로 되며, 이와 반대로 second order polynomial 분석 결과의 이점은 다른 분석 방법보다도 영양소 요구량의 최고 커브 곡선 값을 나타내므로 실제 요구량 보다는 더 높은 값에서의 결과를 얻게된다(Zeitoun et al. 1976). 또한 *Artemia* 공급 단계인 자어기 넙치에서의 3.0~3.5% 수준보다는 월등히 낮은 값을 나타내었다(Izquierdo et al., 1992; Furuita et al., 1999), Kim & Lee(2004)의 보고에 따른 EPA와 DHA를 포함하는 n-3 HUFA의 요구량인 0.8~1.0% 수준과 강도다리(Lee et al., 2003)에서의 경우 n-3 HUFA를 0.9% 및 터봇에서 0.8%보다 높게 나타났다(Kaushik, 2004). 넙치의 경우 해산어 온수성 어종으로 냉수성어종인 강도다리나 터봇보다 DHA를 더욱더 요구될 것으로 사료되어진다.

Takeuchi(1998)의 보고에 따르면 20g의 넙치에서 n-3 HUFA의 요구량이 1.1~1.4%이며, 자어기에 있어서는 DHA를 3% 수준으로 요구한다고 보고하여, 넙치가 성장함에 따라 필수지방산 요구량이 감소하는 것으로 사료되어진다. 어류의 초기 발달단계에서 DHA는 신경세포의 시냅스와 retinogenesis의 중요한 역할을 하므로 초기단계의 경우 DHA 요구량이 치어기 및 성장기보다 높을 것으로 사료되어진다(Takeuchi; 1998).

본 실험에서 사료내 DHA 수준이 증가함에 따라 어체내 지방함량이 증

가되는 것으로 확인할 수 있었으며, 강도다리(Lee et al., 2003)와 돔류(Kalogeropoulos et al., 1992)에서의 경우 필수지방산인 n-3 HUFA가 결핍될수록 지방 함량이 감소하는 경향을 보였다. 이는 돔류에서 n-3 HUFA 함량이 감소할수록 어체내 지방 함량이 감소한다는 보고와 유사한 경향을 보인 것이다.

따라서 본 실험 결과 치어기 넙치의 최대 성장을 위해서는 DHA를 사료내 첨가할 경우 1.26%보다는 높아야 하지만, 1.68% 수준이면 충분할 것으로 조사되었다.



## 2. EPA 요구량 설정 연구

본 실험에서 broken line 분석과 second order polynimial 분석 결과 치어기 넙치 사료내 적정 EPA 요구량은 1.10%보다는 높아야 하지만, 1.59% 수준이면 충분할 것으로 자어기 및 후기자어기의 방어에 있어서 1.4~2.6%와 전갱이에 있어서의 1.6~2.2% 보다 낮은 값을 나타내었으나 대구의 1%보다는 높게 나타났으며(Watanabe et al., 1989; Izquierdo, 1996; Zheng et al., 1996), *Artemia* 공급 단계인 자어기 넙치에서의 3.0~3.5% 수준보다는 낮은 값을 나타내었다(Izquierdo et al., 1992; Furuita et al., 1999).

하지만 Kim and Lee(2004)의 n-3 HUFA의 요구량인 0.8~1.0% 수준과 강도다리(Lee et al., 2003)에서의 경우 0.9% 및 터봇에서 0.8%보다 높게 나타났다(Kaushik, 2004). 넙치의 경우 해산어 온수성 어종으로 냉수성어종인 강도다리나 터봇보다 EPA를 더욱더 요구될 것으로 사료되어진다.

Takeuchi(1998)의 보고에 따르면 20g의 넙치에서 n-3 HUFA의 요구량이 1.1~1.4%과 유사한 경향을 나타내었으며, 자어기의 DHA를 3% 수준 보다는 낮았다. 앞서 DHA와 같이 넙치의 경우 성장함에 따라 필수지방산 요구량이 감소하는 것으로 사료되어진다. EPA를 단독으로 사용할 경우보다 EPA와 DHA를 각각 1:1로하여 첨가할 때 단독 사용할 때보다 성장에서 높은 값을 나타내었다. 하지만 Kim and Lee(2004)의 보고와 같이 사료내 EPA 수준이 적정량을 초과할 경우에 있어서는 성장률이 감소하는 유사한 경향을 보였다. 또한, 앞서 실험한 DHA와의 비교에 있어서는 EPA를 첨가한 실험구가 DHA를 첨가한 실험구보다 월등한 성장 효과를 보였다.

본 실험에서 사료내 EPA 수준이 증가함에 따라 어체내 지방함량이 증가되는 것으로 확인할 수 있었으며, 강도다리(Lee et al., 2003)와 돔류(Kalogeropoulos et al., 1992)에서의 경우 필수지방산인 n-3 HUFA가 결핍될 수록 지방 함량이 감소하는 경향을 확인 할 수 있었다. 또한 돔류에서 n-3

HUFA 함량이 감소할 수 록 어체내 지방 함량이 감소한다는 보고와 유사한 하였다.

본 실험 결과 EPA를 단독으로 한 것보다는 EPA와 DHA를 각각 0.75%씩 첨가하여 공급한 실험구가 EPA를 단독으로 사용한 사료보다 성장률과 사료효율이 높은 것을 알 수 있었으며, 치어기 청어(Bell et al., 1995)와 돛류(Rodriguez et al., 1997)의 유사한 경향을 나타내었다. DHA가 EPA보다 성장이나 발달과정에 있어서 더욱더 중요한 기능을 수행할 것으로 사료된다 하였다(Mourente et al., 1991; Mourente and Tocher, 1992; Bell et al., 1995). 하지만 사료내 EPA와 DHA를 각각 같은 수준을 첨가하였을때는 성장이나 사료효율면에서는 우수하였으나, EPA와 DHA를 각각 수준별로 하였을 경우엔 DHA보다 EPA를 수준별로 첨가한 부분에서 성장률이나 사료효율이 우수했던 점을 감안한다면, 좀더 EPA와 DHA와의 상관관계에 대한 연구가 더욱 필요할 것으로 사료된다.

따라서 본 실험 결과 최대 성장을 위해서는 EPA를 단독으로 사료내 첨가할 경우 1.26% 보다는 높아야 하지만, 1.68% 수준이면 충분할 것으로 조사되었다.

#### 제 4 절 향후 연구 방향

앞서 두 실험의 넙치에서 필수지방산인 EPA와 DHA의 적정 요구량을 각각 확인한바 EPA의 경우 1.10% 보다는 높아야 하지만, 1.59% 수준이면 충분할 것으로 나타났으며, DHA의 경우는 1.26% 보다는 높아야 하지만, 1.68% 수준이면 충분할 것으로 확인 할 수 있었다. 이렇듯 각각의 필수지방산 요구량을 설정을 통하여 필수지방산의 요구량만을 사료내 첨가해 주면 넙치의 성장에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료되었다. 또한 넙치 사료내 다량의 어유를 사용할 경우 사료 가격의 상승을 가져옴으로써 비싼 어유 대신 저렴한 동물성유로 어유 대체 가능성을 확인하였다. 이때 필수지방산인 EPA와 DHA의 사료내 수준을 확인함으로써 어유 대체가 가능할 것으로 사료되어 추후 연구는 동물성유인 우지 및 계유를 이용하여 어유 대체원으로써 이용 가능성을 확인하였다.



## 제 3 장   넙치 사료 내 우지와 계유의 어유 대체 가능성 연구

### 제 1 절   재료 및 방법

#### 1. 우지의 어유 대체 가능성 연구

##### 1) 실험어 사육관리

넙치 치어의 실험어는 전라남도 무안에서 부경대학교 사료영양학실험실내 사육실로 운반하여 250 ℓ 수조에 실험 환경에 적응할 수 있도록 순치 하였으며, 실험시작 전에 모든 실험구는 실험사료에 적응시키기 위해 기초사료를 2주간 동일하게 공급하였다. 예비사육후, 평균무게  $3.93 \pm 0.07$  g (mean $\pm$ SD) 인 넙치 치어를 40 ℓ 사각수조에 각각 15마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였다. 각 실험수조는 반순환여과식으로 유수량은 실험 시작시에 0.8 ℓ/min 되도록 조절하였다. 각 수조에 산소 공급을 위해 블로워로 포기하였으며, 실험기간 동안 수온은  $15 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 전 실험기간 동안에 인위적으로 수온 조절하였다. 사육수의 염분은  $32 \pm 1$  ppt이었고, 용존산소(DO)는 6.3~6.7 mg/ℓ의 범위였다. 사료공급량은 전 실험기간 동안 어체중의 3~5% (건물기준)로 1일 2회(오전 10시, 오후 4시) 공급하였으며, 실험은 8주간 실시하였다.

##### 2) 실험사료 설계

넙치 실험에 사용된 실험사료의 조성과 일반성분은 Table 9에 나타내었으며, 지방산 조성표는 Table 10에 나타내었다. 실험사료는 단백질원으로는 어분(fish meal), 콘글루텐밀(corn gluten meal), 대두박(soybean meal), 새우밀(shrimp meal)를 사용하였으며, 지질원으로 반정제 연어유(salmon crude

oil)와 우지(beef tallow)을 그리고 탄수화물원으로 밀가루(wheat meal)을 사용하였다. 비타민과 미네랄 프리믹스처를 이용하여 적정량의 비타민과 미네랄을 첨가하여 주었으며, 이 외에 사료첨가제로서 MCP, 콜린, 레시틴, 기타 첨가제 등을 사용하였다. 실험사료는 어유를 100%로한 대조구 사료를 대상으로 어유 75%+우지 25%, 어유 50%+우지 50%, 어유 25%+우지 75%, 어유 25%+우지 100%, 어유 17%+우지 63%+DHA 20% 및 우지 75.9%+DHA 24.1%로 총 7가지의 사료를 조단백 53.3%, 조지방 11.1% 및 총에너지는 16.2 kJ/g으로 제작하여 평가하였다. 실험사료는 (주)천하제일사료에 의뢰하여 직경 2mm로 제작하였으며, 제작한 사료는 -20℃에 냉동고에 보관하며 사용하였다.

### 3) 어체측정

어체 측정은 2주 간격으로 실시하였으며, 성장률을 측정하기 위하여 24시간 절식시킨 후 MS-222 (200ppm)로 마취시켜 전체무게를 측정하였다. 실험 종료 후, 증중율(weight gain, %), 일간성장률(specific growth rate, %/day), 단백질전환효율(protein efficiency ratio), 사료효율(feed efficiency, %) 및 생존율(survival rate, %)을 조사하였다. 상기 측정 항목들의 계산식은 다음과 같다.

- Weight gain (WG, %) = (final wt. - initial wt.) × 100 / initial wt.
- Feed efficiency (FE, %) = (wet weight gain / dry feed intake) × 100
- Specific growth rate (SGR, %/day) = (log<sub>e</sub> final wt. - log<sub>e</sub> initial wt.) / days
- Protein efficiency ratio (PER) = (wet weight gain / protein intake)

### 4) 성분분석

① 일반성분 분석 : 실험사료와 각 수조별로 6마리씩 무작위로 추출하여 분

쇄한 전어체를 분석하였으며, AOAC(Association of Official Analytical Chemists, 2000)방법에 따라 수분은 상압가열건조법(135 °C, 2시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법( $N \times 6.25$ ), 조지방은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결 건조한 후, soxtec system 1046(Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

② 혈액분석 : 혈액 및 혈청 성분분석에 있어서 실험종료 후, 증중을 조사와 함께 혈액성분 분석을 위하여 실험어를 채혈하기 전까지 약 24시간 동안 절식시켰다. 실험어를 각 수조당 3마리씩 무작위로 추출하여 일회용 주사기를 이용하여 실험어의 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후, micro-hematocrit 방법(Brown, 1980)에 의해 헤마토크리트(hematocrit, PCV)를 측정하고, 동시에 Drabkin's 용액을 사용하여 cyan-methemoglobin 방법(Sigma Chemical, St. Louis MO; total hemoglobin procedure No. 525)으로 헤모글로빈(hemoglobin, Hb)을 측정하였다. 혈청성분의 분석을 위하여 채혈한 혈액을 항응고제가 처리되지 않은 원심분리관에 넣고 실온에 30분간 방치한 후 3,000rpm에서 10분간 원심분리하여 냉장보관하면서 16시간 이내에 분석하였다. 혈청성분은 임상용 kit(아산제약주식회사, 대한민국)를 사용하여 총단백질(total protein)은 biuret법으로, 글루코스(glucose)는 효소법으로 그리고 GOT(glutamic oxaloacetic acid)와 GPT(glutamic pyruvic acid)는 Reitman-Frankel법으로 분석하였다.

③ 지방산분석 : 실험사료와 분쇄한 전어체에서 추출한 지방의 methylation은 Metcalfe et al.(1966)의 방법에 의해 분석하였다. 지방산 methylation은 teries silica capillary column을 장착한 gas chromatography((Thermo Finnigan Trace GC; Austin, Texas, USA)에 의해 분석하였다. 캐리어 기체는 질소를 사용하였고, detection은 FID 모드를 사용하였으며 분석조건은 다음과 같다. Instrument: Trace GC gas chromatography, column: quadrex, 30M, bonded carbowax 0.25

mm I.D×0.25  $\mu$ m film, cat. No.: 007-CW-30-0.25F, injector temperature: 250℃, Detector temperature: 250℃, flow (gas press): 65 psi. helium, splite: 1:50 도출된 크로마토그램은 분석 프로그램인 peak sample에 의해 분석하였다.

## 5) 통계분석

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1(Analytical Software, St. Paul MN. USA)로 분산분석(ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성( $P < 0.05$ )을 검정하였다.



Table 9. Composition and proximate analysis of the seven experimental different diets for olive flounder (% of dry matter basis)

|                                                   | Diets |                  |                  |                  |                   |                                  |                                      |
|---------------------------------------------------|-------|------------------|------------------|------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
|                                                   | Cont. | BT <sub>25</sub> | BT <sub>50</sub> | BT <sub>75</sub> | BT <sub>100</sub> | BT <sub>63</sub> D <sub>20</sub> | BT <sub>75.9</sub> D <sub>24.1</sub> |
| Fish meal <sup>1</sup>                            |       |                  |                  | 53.9             |                   |                                  |                                      |
| Soybean meal <sup>1</sup>                         |       |                  |                  | 6.0              |                   |                                  |                                      |
| Shrimp meal <sup>1</sup>                          |       |                  |                  | 5.0              |                   |                                  |                                      |
| Corn gluten meal <sup>1</sup>                     |       |                  |                  | 8.0              |                   |                                  |                                      |
| Wheat meal <sup>1</sup>                           |       |                  |                  | 18.9             |                   |                                  |                                      |
| Fish oil <sup>1</sup>                             | 4.7   | 3.5              | 2.3              | 1.2              | 0                 | 0.8                              | 0                                    |
| Beef tallow <sup>1</sup>                          | 0     | 1.2              | 2.3              | 3.5              | 4.7               | 2.9                              | 3.5                                  |
| DHA <sup>2</sup>                                  | -     | -                | -                | -                | -                 | 0.9                              | 1.1                                  |
| Others <sup>3</sup>                               |       |                  |                  | 3.6              |                   |                                  |                                      |
| <i>Proximately analysis(% , dry matter basis)</i> |       |                  |                  |                  |                   |                                  |                                      |
| Moisture                                          | 9.50  | 9.68             | 9.74             | 9.27             | 9.73              | 9.51                             | 10.3                                 |
| Crude protein                                     | 53.6  | 53.4             | 53.3             | 53.8             | 53.5              | 53.4                             | 53.7                                 |
| Crude lipid                                       | 10.5  | 10.4             | 10.4             | 9.7              | 10.4              | 10.3                             | 10.4                                 |
| Crude ash                                         | 11.5  | 11.3             | 11.3             | 11.1             | 11.3              | 11.2                             | 11.4                                 |

<sup>1</sup>Provided by Jeil Feed Co., Haman, Korea.

<sup>2</sup>Provided by Neomega products Co., Daejeon, Korea.

<sup>3</sup>Others : Vitamin mix., Mineral mix., MCP, Lecithin, Choline, Additive.

Table 10. Fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets

| Fatty acids         | Diets |                  |                  |                  |                   |                                  |                                      |
|---------------------|-------|------------------|------------------|------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
|                     | Cont. | BT <sub>25</sub> | BT <sub>50</sub> | BT <sub>75</sub> | BT <sub>100</sub> | BT <sub>63</sub> D <sub>20</sub> | BT <sub>75.9</sub> D <sub>24.1</sub> |
| 14:0                | 3.1   | 3.1              | 3.0              | 2.9              | 2.5               | 2.7                              | 2.5                                  |
| 15:0                | 0.3   | 0.3              | 0.3              | 0.3              | 0.2               | 0.3                              | 0.2                                  |
| 16:0                | 16.6  | 17.9             | 18.9             | 20.8             | 19.7              | 18.4                             | 18.6                                 |
| 17:0                | 0.4   | 0.5              | 0.5              | 0.5              | 0.5               | 0.5                              | 0.5                                  |
| 18:0                | 4.4   | 5.7              | 6.7              | 8.2              | 8.0               | 6.9                              | 7.1                                  |
| 20:0                | 0.2   | 0.2              | 0.2              | 0.2              | 0.2               | 0.2                              | 0.2                                  |
| 21:0                | 0.2   | 0.1              | 0.1              | 0.1              | 0.1               | 0.1                              | 0.1                                  |
| 22:0                | 0.2   | 0.2              | 0.1              | 0.1              | 0.1               | 0.1                              | 0.1                                  |
| 23:0                | 0.2   | -                | 0.2              | 0.2              | 0.2               | 0.2                              | 0.2                                  |
| 24:0                | 2.8   | 2.3              | 2.0              | 0.8              | 1.4               | 1.7                              | 1.5                                  |
| Saturates           | 28.6  | 30.3             | 32.1             | 34.1             | 33.0              | 31.0                             | 31.1                                 |
| 14:1                | -     | 0.1              | 0.1              | 0.2              | 0.2               | 0.1                              | 0.2                                  |
| 16:1                | 4.2   | 4.0              | 3.7              | 3.4              | 3.0               | 3.2                              | 2.9                                  |
| 18:1                | 21.9  | 24.2             | 25.7             | 28.5             | 28.9              | 25.3                             | 25.6                                 |
| 20:1                | 3.1   | 2.7              | 2.4              | 2.0              | 2.1               | 2.0                              | 1.9                                  |
| 22:1                | 2.3   | 1.9              | 1.8              | 1.5              | 1.7               | 1.6                              | 1.6                                  |
| MUFA                | 31.7  | 33.2             | 34.0             | 35.9             | 36.2              | 32.5                             | 32.4                                 |
| 18:2n-6             | 19.3  | 19.0             | 18.5             | 18.0             | 18.5              | 17.4                             | 17.6                                 |
| 18:3n-3             | 2.3   | 2.1              | 2.0              | 1.8              | 1.8               | 1.8                              | 1.8                                  |
| 20:4n-6             | 0.7   | 0.7              | 0.6              | 0.5              | 0.6               | 0.6                              | 0.6                                  |
| 20:5n-3             | 6.2   | 5.3              | 4.6              | 3.5              | 3.5               | 4.1                              | 3.8                                  |
| 22:6n-3             | 10.1  | 8.6              | 7.4              | 5.6              | 5.6               | 11.7                             | 11.9                                 |
| n-3                 | 18.7  | 16.0             | 13.9             | 10.8             | 10.9              | 17.7                             | 17.5                                 |
| n-6                 | 19.3  | 19.0             | 18.5             | 18.0             | 18.5              | 17.4                             | 17.6                                 |
| n - 3 / n - 6 ratio | 1.0   | 0.8              | 0.8              | 0.6              | 0.6               | 1.0                              | 1.0                                  |

Table 11. Fatty acids composition of fish oil and beef tallow(%)

| Fatty acids      | Fish oil(FO) | Beef tallow(BT) |
|------------------|--------------|-----------------|
| 8:0              | -            | 0.5             |
| 10:0             | -            | 0.2             |
| 12:0             | 0.1          | 0.3             |
| 14:0             | 5.7          | 4.2             |
| 15:0             | 0.5          | 0.3             |
| 16:0             | 15.4         | 28.1            |
| 17:0             | 0.9          | 0.6             |
| 18:0             | 4.0          | 12.2            |
| 20:0             | 0.2          | -               |
| ΣSaturated       | 26.8         | 46.4            |
| 14:1             | 0.2          | 0.8             |
| 16:1             | 7.4          | 3.7             |
| 17:1             | 1.0          | 0.5             |
| 18:1 $n$ -9      | 15.2         | 37.2            |
| 18:1 $n$ -7      | 3.2          | 2.5             |
| 20:1             | 2.2          | -               |
| 22:1             | 1.0          | -               |
| 24:1             | 0.4          | -               |
| ΣMonounsaturated | 30.6         | 44.7            |
| 16:2             | 0.3          | -               |
| 16:3             | 1.1          | 0.4             |
| 18:2 $n$ -6      | 2.7          | 7.6             |
| 18:3 $n$ -3      | 0.8          | -               |
| 18:4 $n$ -3      | 1.6          | -               |
| 20:2 $n$ -6      | 0.3          | -               |
| 20:3 $n$ -6      | 0.2          | -               |
| 20:4 $n$ -6      | 2.4          | -               |
| 20:5 $n$ -3      | 10.6         | -               |
| 22:5 $n$ -3      | 0.6          | -               |
| 22:5 $n$ -3      | 4.8          | -               |
| 22:6 $n$ -3      | 13.4         | -               |
| ΣPolyunsaturated | 38.8         | 8.0             |
| Σ $n$ -3         | 31.8         | -               |
| Σ $n$ -6         | 5.6          | 7.6             |
| $n$ -3/ $n$ -6   | 5.68         | 0.05            |
| EPA/DHA          | 0.79         | -               |

## **2. 계유의 어유 대체 가능성 연구**

### **1) 실험어 사육관리**

- 제 3장 1절과 동일.

### **2) 실험사료 설계**

넙치 실험에 사용된 실험사료의 조성과 일반성분은 Table 12에 나타내었으며, 지방산 조성표는 Table 13에 나타내었다. 실험사료는 단백질원으로는 어분(fish meal), 콘글루텐밀(corn gluten meal), 대두박(soybean meal), 새우밀(shrimp meal)를 사용하였으며, 지질원으로 반정제 연어유(salmon crude oil)와 계유(chicken oil)을 그리고 탄수화물원으로 밀가루(wheat meal)를 사용하였다. 비타민과 미네랄 프리믹스처를 이용하여 적정량의 비타민과 미네랄을 첨가하여 주었으며, 이 외에 사료첨가제로서 MCP, 콜린, 레시틴, 기타 첨가제 등을 사용하였다. 실험사료는 어유를 100%로한 대조구 사료를 대상으로 어유 75%+계유 25%, 어유 50%+계유 50%, 어유 25%+계유 75%, 어유 25%+계유 100%, 어유 17%+계유 68.6%+DHA 14.4% 및 계유 82.8%+DHA17.2%로 총 7가지의 사료를 조단백 53.3%, 조지방 11.1% 및 총에너지는 16.2 kJ/g으로 제작하여 평가하였다. 실험사료는 (주)천하제일사료에 의뢰하여 직경 2mm로 제작하였으며, 제작한 사료는 -20℃에 냉동고에 보관하며 사용하였다.

### **3) 어체측정**

- 제 3장 1절과 동일.

### **4) 성분분석**

- 제 3장 1절과 동일.

## 5) 통계분석

- 제 3장 1절과 동일.



Table 12. Composition and proximate analysis of the experimental diets for olive flounder (% of dry matter basis)

|                                                   | Diets |                  |                  |                  |                   |                                      |                                      |
|---------------------------------------------------|-------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                   | Cont. | PO <sub>25</sub> | PO <sub>50</sub> | PO <sub>75</sub> | PO <sub>100</sub> | PO <sub>68.6</sub> D <sub>14.4</sub> | PO <sub>82.8</sub> D <sub>17.2</sub> |
| Fish meal <sup>1</sup>                            |       |                  |                  | 53.9             |                   |                                      |                                      |
| Soybean meal <sup>1</sup>                         |       |                  |                  | 6.0              |                   |                                      |                                      |
| Shrimp meal <sup>1</sup>                          |       |                  |                  | 5.0              |                   |                                      |                                      |
| Corn gluten meal <sup>1</sup>                     |       |                  |                  | 8.0              |                   |                                      |                                      |
| Wheat meal <sup>1</sup>                           |       |                  |                  | 18.9             |                   |                                      |                                      |
| Fish oil <sup>1</sup>                             | 4.7   | 3.5              | 2.3              | 1.2              | -                 | 0.8                                  | -                                    |
| Poultry oil <sup>1</sup>                          | -     | 1.2              | 2.3              | 3.5              | 4.7               | 3.2                                  | 3.9                                  |
| DHA <sup>2</sup>                                  | -     | -                | -                | -                | -                 | 0.7                                  | 0.8                                  |
| Others <sup>3</sup>                               |       |                  |                  | 3.6              |                   |                                      |                                      |
| <i>Proximately analysis</i> (%, dry matter basis) |       |                  |                  |                  |                   |                                      |                                      |
| Moisture                                          | 9.98  | 9.49             | 9.61             | 9.79             | 9.77              | 10.3                                 | 9.89                                 |
| Crude protein                                     | 53.5  | 53.3             | 53.5             | 52.5             | 53.0              | 53.2                                 | 53.4                                 |
| Crude lipid                                       | 10.5  | 10.6             | 11.0             | 11.6             | 11.3              | 11.0                                 | 11.1                                 |
| Crude ash                                         | 11.2  | 10.8             | 11.0             | 11.3             | 10.9              | 11.2                                 | 11.0                                 |

<sup>1</sup>Provided by Jeil Feed Co., Haman, Korea.

<sup>2</sup>Provided by Neomega products Co., Daejeon, Korea.

<sup>3</sup>Others : Vitamin mix., Mineral mix., MCP, Lecithin, Choline, Additive.

Table 13. Fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets

| Fatty acids   | Diets |                  |                  |                  |                   |                                      |                                      |
|---------------|-------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|               | Cont. | PO <sub>25</sub> | PO <sub>50</sub> | PO <sub>75</sub> | PO <sub>100</sub> | PO <sub>68.6</sub> D <sub>14.4</sub> | PO <sub>82.8</sub> D <sub>17.2</sub> |
| 14:0          | 3.3   | 3.5              | 3.0              | 2.2              | 2.1               | 2.3                                  | 1.9                                  |
| 15:0          | 0.3   | 0.3              | 0.3              | 0.2              | 0.2               | 0.2                                  | 0.2                                  |
| 16:0          | 16.7  | 18.6             | 19.6             | 19.6             | 20.9              | 18.3                                 | 18.6                                 |
| 17:0          | 0.4   | 0.4              | 0.4              | 0.3              | 0.3               | 0.3                                  | 0.3                                  |
| 18:0          | 4.3   | 4.5              | 4.7              | 5.0              | 5.1               | 4.6                                  | 4.7                                  |
| 20:0          | 0.2   | 0.3              | 0.2              | 0.2              | 0.2               | 0.2                                  | 0.2                                  |
| 21:0          | 0.2   | 0.1              | 0.1              | 0.1              | 0.1               | 0.1                                  | 0.1                                  |
| 22:0          | 0.2   | 0.1              | 0.1              | 0.1              | 0.1               | 0.1                                  | 0.1                                  |
| 23:0          | 0.3   | 0.2              | 0.2              | 0.2              | 0.1               | 0.2                                  | 0.2                                  |
| 24:0          | 2.8   | 2.2              | 1.8              | 1.5              | 1.2               | 1.7                                  | 1.4                                  |
| Saturates     | 28.7  | 30.4             | 30.5             | 29.7             | 30.4              | 28.1                                 | 27.9                                 |
| 14:1          | 0.1   | 0.1              | 0.1              | 0.1              | 0.1               | 0.1                                  | 0.1                                  |
| 16:1          | 4.2   | 4.3              | 4.4              | 4.4              | 4.3               | 4.0                                  | 4.0                                  |
| 18:1          | 21.2  | 23.2             | 25.3             | 27.8             | 28.9              | 24.8                                 | 26.5                                 |
| 20:1          | 3.0   | 2.3              | 2.2              | 2.1              | 1.8               | 2.0                                  | 1.9                                  |
| 22:1          | 2.2   | 1.7              | 1.7              | 1.7              | 1.4               | 1.7                                  | 1.6                                  |
| MUFA          | 30.8  | 31.9             | 33.8             | 36.2             | 36.7              | 32.7                                 | 34.1                                 |
| 18:2n-6       | 19.8  | 20.5             | 20.8             | 21.0             | 21.8              | 20.1                                 | 21.0                                 |
| 18:3n-3       | 2.3   | 2.1              | 2.0              | 1.9              | 1.8               | 1.9                                  | 1.8                                  |
| 20:4n-6       | 0.8   | 0.7              | 0.7              | 0.6              | 0.6               | 0.7                                  | 0.7                                  |
| 20:5n-3       | 6.3   | 5.2              | 4.4              | 3.7              | 3.1               | 4.2                                  | 3.6                                  |
| 22:6n-3       | 10.3  | 8.4              | 7.1              | 6.1              | 4.9               | 11.6                                 | 10.2                                 |
| n-3           | 18.9  | 15.8             | 13.5             | 11.7             | 9.8               | 17.6                                 | 15.6                                 |
| n-6           | 19.9  | 20.5             | 20.8             | 21.1             | 21.9              | 20.2                                 | 21.1                                 |
| n-3/n-6 ratio | 0.9   | 0.8              | 0.6              | 0.6              | 0.4               | 0.9                                  | 0.7                                  |

Table 14. Fatty acids composition of fish oil and poultry oil

| Fatty acids      | Fish oil(FO)     | Poultry oil(PO) |
|------------------|------------------|-----------------|
| 8:0              |                  | 0.4             |
| 12:0             |                  | -               |
| 14:0             |                  | 1.2             |
| 15:0             |                  | -               |
| 16:0             |                  | 24.7            |
| 17:0             |                  | -               |
| 18:0             |                  | 5.6             |
| 20:0             |                  | -               |
| ΣSaturated       |                  | 31.9            |
| 14:1             |                  | 0.3             |
| 16:1             |                  | 7.0             |
| 17:1             |                  | -               |
| 18:1 $n$ -9      |                  | 38.5            |
| 18:1 $n$ -7      |                  | 1.9             |
| 20:1             |                  | -               |
| 22:1             |                  | -               |
| 24:1             |                  | -               |
| ΣMonounsaturated | Same of table 11 | 47.7            |
| 16:2             |                  | -               |
| 16:3             |                  | 0.2             |
| 18:2 $n$ -6      |                  | 18.7            |
| 18:3 $n$ -3      |                  | 0.8             |
| 18:4 $n$ -3      |                  | -               |
| 20:2 $n$ -6      |                  | -               |
| 20:3 $n$ -6      |                  | -               |
| 20:4 $n$ -6      |                  | -               |
| 20:5 $n$ -3      |                  | -               |
| 22:5 $n$ -3      |                  | -               |
| 22:5 $n$ -3      |                  | -               |
| 22:6 $n$ -3      |                  | -               |
| ΣPolyunsaturated |                  | 19.7            |
| Σ $n$ -3         |                  | 0.8             |
| Σ $n$ -6         |                  | 18.7            |
| $n$ -3/ $n$ -6   |                  | 0.04            |
| EPA/DHA          |                  | -               |

## 제 2 절 결과

### 1. 우지의 어유 대체 가능성 연구

#### 1) 성장평가

8주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 Table 15에 나타내었다. 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 어유를 우지 75.9%+DHA 24.1%를 첨가하여 공급한 실험구가 대조구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 우지 75.9%+DHA 24.1%와 우지 63%+DHA 20% 구간에 있어서 유의한 차이가 없었다. 대조구와에 있어서는 어유를 우지 75.9%+DHA 24.1%를 첨가하여 공급한 실험구를 제외한 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 또한 어유를 우지 75.9%+DHA 24.1%를 첨가하여 공급한 실험구가 어유 대체 25%, 50%, 75% 및 100% 대체구에 있어서 유의한 차이가 있었다( $P<0.05$ ). 사료효율(FE)과 단백질전환효율(PER)에 있어서 어유를 수준별로 대체한 실험구간에 있어서는 유의한 차이가 없었으나, 지 75.9%+DHA 24.1%구에 있어서는 대조구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 전 실험기간 생존율에 있어서 생존율이 93.3~100%로 유의한 차이가 없었다.

#### 2) 혈액분석

8주 동안 사육한 넙치의 혈액분석 결과는 Table 16에 나타내었다. 전혈 헤마토크리트수치(PCV)에 있어서 어유를 우지로 50% 및 75% 대체하여 공급한 실험구가 대조구비 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 우지를 63%+DHA 20%를 대체한 실험구가 대조구에 비하여 유의하게 낮은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 전혈 적혈구세포수(RBC)와 헤모글리빈(Hb) 수치에 있어서 우지를 75% 대체하여 공급한 실험구가 대조구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 우지를 68.6%+DHA 14.4%구와 우지를 82.8%+DHA 17.2%를 대체하여 공급한 실험구가 대조구에 비하여 유의하게 낮은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 혈청내 GOT에 있어서 우지 100% 대체하여 공급한 실험구가 계유 50%를 대체하여 공급한 비에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었

으며( $P<0.05$ ), 대조구와에 있어서는 전실험구간에 유의한 차이가 없었다. 혈청내 글루코스(glucose)에 있어서 우지를 25% 대체하여 공급한 실험구가 다른 실험구에 비하여 유의하게 낮은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 어유를 25% 대체하여 우지 25%를 첨가하여 공급한 실험구를 제외한 실험구간에 있어서는 유의한 차이가 없었다. 혈청내 GPT, Cholestrol, HDL, LDL 및 Total protein에 있어서 전실험구간에 유의한 차이가 없었다. 혈청내 GPT에서 있어서 1.67~3.00 IU/L 수준을 나타내었다. 혈청내 콜레스테롤(cholesterol) 수치에 있어서는 169~193 mg/dL 이었다. 혈청내 HDL에 있어서는 전실험구간에 있어서 20.7~26.3 mg/dL, 혈청내 LDL에 있어서 10.3~24.3 mg/dL 수준이었다. 혈청내 총단백질(total protein) 함량에 있어서는 2.90~3.13 g/dL이었다.

### 3) 전어체 일반성분 분석

8주 동안 사육한 넙치의 전어체 일반성분 분석 결과는 Table 17에 나타내었다. 전실험구간에 있어서 수분, 조단백질, 지질 및 조회분에 있어서 유의한 차이가 없었다. 수분 함량은 73.4~75.1%, 조단백 함량은 건물기준으로 23.4~25.4% 및 조지방 함량은 4.79~5.65% 수준이었다. 또한 조회분 함량에 있어서는 4.61~5.14% 함량이었다.

### 4) 전어체 지방산 조성 분석

8주 동안 사육한 넙치의 전어체 지방산 조성 분석 결과는 Table 18에 나타내었다. 포화지방산 함량에 있어서 전실험구간에 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 31.7~33.7% 수준을 나타내었다. 하지만 이중결합이 하나 있는 불포화지방산의 경우 대조구가 우지를 수준별로 대체한 실험구보다 유의하게 낮은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 고도불포화 지방산(n-3 HUFA)인 20:5n-3(EPA)에 있어서 대조구와 25% 우지를 대체한 실험구가 다른 실험구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 어유를 계유로 수준별로 대체할수록 20:5n-3의 함량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 22:6n-3(DHA)에 있

어서 20:5n-3 수준과 비슷한 경향을 보였으나 우지 63%+DHA20%구가 대조구, 어유를 우지로 수준별로 대체한 25%, 50%, 75%, 100%구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 우지 75.9%+DHA 24.1%구와는 유의한 차이가 없었다. n-3 지방산에 있어서 어유를 우지로 수준별로 대체할수록 함량이 감소하였으며, 대조구와 우지 63%+DHA20%구 및 우지 75.9%+DHA 24.1%구에 있어서 유의한 차이가 없었다.

## 5) 간의 지방산 조성 분석

8주 동안 사육한 넙치 간의 지방산 조성 분석 결과는 Table 19에 나타내었다. 포화지방산 함량에 있어서 전실험구간에 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 28.9~30.5% 수준을 나타내었다. 하지만 이중결합이 하나 있는 불포화지방산의 경우에 있어서 대조구에 비하여 우지를 75% 및 100% 대체한 구가 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 고도불포화 지방산(n-3 HUFA)인 20:5n-3(EPA)에 있어서 대조구가 어유를 우지로 대체한 50%, 75%, 100% 및 우지 63%+DHA20%구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 와 25% 우지를 대체한 실험구가 다른 실험구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 어유를 계유로 수준별로 대체할수록 20:5n-3의 함량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 22:6n-3(DHA)에 있어서 20:5n-3 수준과 비슷한 경향을 보였으나 우지 63%+DHA20%구와 우지 75.9%+DHA 24.1%구가 다른 실험구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 또한 어유를 우지로 수준별로 대체할 수록 값이 낮아지는 경향을 볼 수 있었다. n-3 지방산에 있어서 어유를 우지로 수준별로 대체할수록 함량이 감소하였으며, 대조구와 우지 63%+DHA20%구 및 우지 75.9%+DHA 24.1%구에 있어서 유의한 차이가 없었다.

Table 15. Weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER) and survival rate(%) of juvenile olive flounder fed the seven experimental different diets for 8 weeks<sup>1</sup>

|                     | Diets <sup>2</sup>  |                   |                    |                    |                    |                                  |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|                     | Cont.               | BT <sub>25</sub>  | BT <sub>50</sub>   | BT <sub>75</sub>   | BT <sub>100</sub>  | BT <sub>63</sub> D <sub>20</sub> | BT <sub>75.9</sub> D <sub>24.1</sub> |                         |
| WG (%) <sup>4</sup> | 340 <sup>bcd</sup>  | 331 <sup>d</sup>  | 336 <sup>cd</sup>  | 343 <sup>cd</sup>  | 346 <sup>bc</sup>  | 349 <sup>ab</sup>                | 358 <sup>a</sup>                     | 2.11                    |
| SGR <sup>5</sup>    | 3.08 <sup>bcd</sup> | 3.00 <sup>d</sup> | 3.05 <sup>cd</sup> | 3.11 <sup>bc</sup> | 3.13 <sup>bc</sup> | 3.16 <sup>ab</sup>               | 3.24 <sup>a</sup>                    | 0.02                    |
| FE (%) <sup>6</sup> | 106 <sup>b</sup>    | 107 <sup>b</sup>  | 112 <sup>ab</sup>  | 112 <sup>ab</sup>  | 108 <sup>ab</sup>  | 112 <sup>ab</sup>                | 117 <sup>a</sup>                     | 1.26                    |
| PER <sup>7</sup>    | 3.31 <sup>b</sup>   | 3.36 <sup>b</sup> | 3.52 <sup>ab</sup> | 3.50 <sup>ab</sup> | 3.38 <sup>ab</sup> | 3.52 <sup>ab</sup>               | 3.68 <sup>a</sup>                    | 0.04                    |
| Survival rate (%)   | 93.3                | 93.3              | 97.8               | 97.8               | 97.8               | 95.6                             | 100                                  | 0.99                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Cont.; Fish oil 100%, BT<sub>25</sub>; Fish oil 75%+Beef tallow 25%, BT<sub>50</sub>; Fish oil 50%+Beef tallow 50%, BT<sub>75</sub>; Fish oil 25%+Beef tallow 75%, BT<sub>100</sub>; Beef tallow 100%, BT<sub>63</sub>D<sub>20</sub>; Fish oil 17%+Beef tallow 63%+DHA 20%, BT<sub>75.9</sub>D<sub>24.1</sub>; Beef tallow 75.9%+ DHA 24.1%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean : SD/√n.

<sup>4</sup>Weight gain (%) : [(final wt.(g) - initial wt.(g)) / initial wt.(g)] × 100.

<sup>5</sup>Specific growth rate : [loge (final wt.) - loge (initial wt.)/days] × 100.

<sup>6</sup>Feed efficiency (%) : (wet weight gain / dry feed intake) × 100.

<sup>7</sup>Protein efficiency ratio : wet wt. gain / protein intake.

Table 16. Serological characteristics of juvenile olive flounder fed the experimental different diets for 8 weeks<sup>1</sup>

|                             | Diets <sup>2</sup> |                    |                    |                    |                    |                                  |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|                             | Cont.              | BT <sub>25</sub>   | BT <sub>50</sub>   | BT <sub>75</sub>   | BT <sub>100</sub>  | BT <sub>63</sub> D <sub>20</sub> | BT <sub>75.9</sub> D <sub>24.1</sub> |                         |
| PCV <sup>4</sup>            | 22.3 <sup>c</sup>  | 21.7 <sup>c</sup>  | 25.2 <sup>b</sup>  | 34.0 <sup>a</sup>  | 22.2 <sup>c</sup>  | 17.9 <sup>d</sup>                | 19.4 <sup>cd</sup>                   | 1.13                    |
| RBC <sup>5</sup>            | 2.75 <sup>b</sup>  | 2.77 <sup>b</sup>  | 2.84 <sup>b</sup>  | 3.47 <sup>a</sup>  | 2.61 <sup>bc</sup> | 2.12 <sup>d</sup>                | 2.32 <sup>cd</sup>                   | 0.10                    |
| Hb <sup>6</sup>             | 11.7 <sup>bc</sup> | 11.4 <sup>bc</sup> | 12.3 <sup>b</sup>  | 15.3 <sup>a</sup>  | 10.7 <sup>cd</sup> | 9.3 <sup>e</sup>                 | 9.7 <sup>de</sup>                    | 0.43                    |
| GOT <sup>7</sup>            | 40.7 <sup>ab</sup> | 21.5 <sup>b</sup>  | 43.7 <sup>ab</sup> | 39.7 <sup>ab</sup> | 56.0 <sup>a</sup>  | 44.7 <sup>ab</sup>               | 38.7 <sup>ab</sup>                   | 3.51                    |
| GPT <sup>8</sup>            | 3.00               | 2.50               | 1.67               | 2.33               | 2.67               | 1.67                             | 2.00                                 | 0.28                    |
| Cholestrol <sup>9</sup>     | 188                | 166                | 187                | 182                | 193                | 169                              | 172                                  | 4.75                    |
| Glucose <sup>10</sup>       | 12.0 <sup>a</sup>  | 9.0 <sup>b</sup>   | 13.0 <sup>a</sup>  | 13.7 <sup>a</sup>  | 13.0 <sup>a</sup>  | 13.3 <sup>a</sup>                | 15.0 <sup>a</sup>                    | 0.48                    |
| HDL <sup>11</sup>           | 26.3               | 21.5               | 26.0               | 26.0               | 24.0               | 25.3                             | 20.7                                 | 0.76                    |
| LDL <sup>12</sup>           | 24.3               | 16.5               | 19.0               | 17.3               | 22.0               | 10.3                             | 22.3                                 | 2.64                    |
| Total protein <sup>13</sup> | 3.07               | 3.10               | 3.13               | 2.93               | 3.17               | 3.00                             | 2.90                                 | 0.04                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Cont.; Fish oil 100%, BT<sub>25</sub>; Fish oil 75%+Beef tallow 25%, BT<sub>50</sub>; Fish oil 50%+Beef tallow 50%, BT<sub>75</sub>; Fish oil 25%+Beef tallow 75%, BT<sub>100</sub>; Beef tallow 100%, BT<sub>63</sub>D<sub>20</sub>; Fish oil 17%+Beef tallow 63%+DHA 20%, BT<sub>75.9</sub>D<sub>24.1</sub>; Beef tallow 75.9%+

DHA 24.1%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean :  $SD/\sqrt{n}$ .

<sup>4</sup>PCV (%) = Haematocrit.

<sup>5</sup>RBC (g/dL) = Red blood cell.

<sup>6</sup>Hb (g/dL) = Hemoglobin.

<sup>7</sup>GOT (IU/L) = Glutamic oxaloacetic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0  $\mu$ mol of L-aspartate per minute at 25°C and pH 7.4.

<sup>8</sup>GPT (IU/L) = Glutamic pyruvic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0  $\mu$ mol of L-alanine per minute at 25°C and pH 7.4.

<sup>9</sup>Cholesterol (mg/dL).

<sup>10</sup>Glucose (mg/dL).

<sup>11</sup>HDL (mg/dL) = High density lipid.

<sup>12</sup>LDL (mg/dL) = Low density lipid.

<sup>13</sup>Total protein (g/dL).

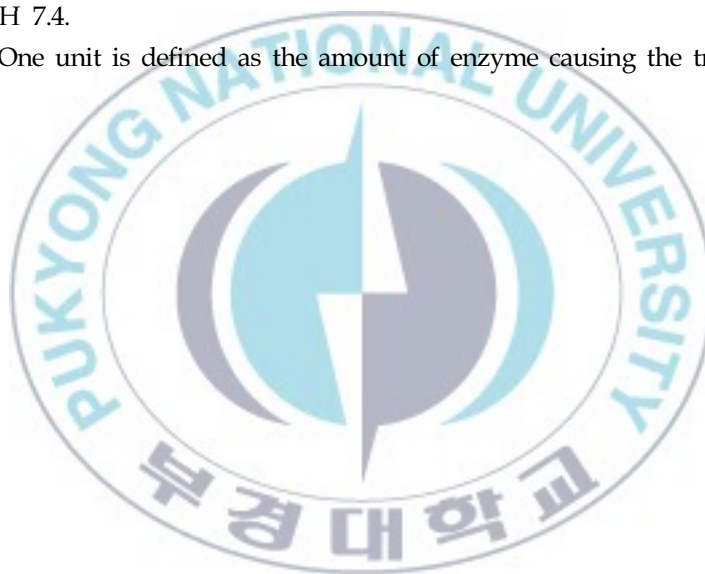


Table 17. Whole body composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks (% of dry matter basis)<sup>1</sup>

|               | Diets <sup>2</sup> |                   |                    |                   |                    |                                  |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|---------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|               | Cont.              | BT <sub>25</sub>  | BT <sub>50</sub>   | BT <sub>75</sub>  | BT <sub>100</sub>  | BT <sub>63</sub> D <sub>20</sub> | BT <sub>75.9</sub> D <sub>24.1</sub> |                         |
| Moisture      | 73.4               | 73.9              | 74.6               | 73.7              | 74.1               | 74.2                             | 74.1                                 | 0.21                    |
| Crude protein | 69.8               | 69.3              | 71.3               | 69.7              | 71.1               | 68.5                             | 69.0                                 | 0.23                    |
| Crude lipid   | 14.7 <sup>ab</sup> | 15.8 <sup>a</sup> | 15.0 <sup>ab</sup> | 15.4 <sup>a</sup> | 14.3 <sup>ab</sup> | 13.6 <sup>b</sup>                | 14.8 <sup>ab</sup>                   | 0.14                    |
| Crude ash     | 13.7               | 13.6              | 14.1               | 13.6              | 14.0               | 14.1                             | 13.5                                 | 0.06                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Cont.; Fish oil 100%, BT<sub>25</sub>; Fish oil 75%+Beef tallow 25%, BT<sub>50</sub>; Fish oil 50%+Beef tallow 50%, BT<sub>75</sub>; Fish oil 25%+Beef tallow 75%, BT<sub>100</sub>; Beef tallow 100%, BT<sub>63</sub>D<sub>20</sub>; Fish oil 17%+Beef tallow 63%+DHA 20%, BT<sub>75.9</sub>D<sub>24.1</sub>; Beef tallow 75.9%+DHA 24.1%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean : SD/ $\sqrt{n}$ .

Table 18. Whole body fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks<sup>1</sup>

|           | Diets <sup>2</sup> |                    |                     |                    |                    |                                  |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|           | Cont.              | BT <sub>25</sub>   | BT <sub>50</sub>    | BT <sub>75</sub>   | BT <sub>100</sub>  | BT <sub>63</sub> D <sub>20</sub> | BT <sub>75.9</sub> D <sub>24.1</sub> |                         |
| 14:0      | 3.27 <sup>a</sup>  | 3.07 <sup>ab</sup> | 2.92 <sup>abc</sup> | 2.65 <sup>cd</sup> | 2.60 <sup>cd</sup> | 2.87 <sup>bcd</sup>              | 2.49 <sup>d</sup>                    | 0.07                    |
| 15:0      | 0.36 <sup>a</sup>  | 0.35 <sup>ab</sup> | 0.34 <sup>b</sup>   | 0.31 <sup>cd</sup> | 0.29 <sup>d</sup>  | 0.31 <sup>cd</sup>               | 0.29 <sup>d</sup>                    | 0.01                    |
| 16:0      | 17.6 <sup>b</sup>  | 17.9 <sup>b</sup>  | 18.9 <sup>ab</sup>  | 18.9 <sup>ab</sup> | 19.4 <sup>a</sup>  | 18.5 <sup>ab</sup>               | 18.2 <sup>ab</sup>                   | 0.19                    |
| 17:0      | 0.37 <sup>b</sup>  | 0.38 <sup>b</sup>  | 0.41 <sup>a</sup>   | 0.38 <sup>ab</sup> | 0.38 <sup>ab</sup> | 0.38 <sup>ab</sup>               | 0.38 <sup>ab</sup>                   | 0.00                    |
| 18:0      | 3.82 <sup>d</sup>  | 4.23 <sup>c</sup>  | 4.74 <sup>b</sup>   | 4.95 <sup>b</sup>  | 5.33 <sup>a</sup>  | 4.81 <sup>b</sup>                | 4.92 <sup>b</sup>                    | 0.11                    |
| 20:0      | 3.11 <sup>a</sup>  | 2.87 <sup>ab</sup> | 2.88 <sup>ab</sup>  | 2.71 <sup>bc</sup> | 2.48 <sup>c</sup>  | 2.50 <sup>c</sup>                | 2.59 <sup>c</sup>                    | 0.05                    |
| 21:0      | 0.68 <sup>a</sup>  | 0.58 <sup>b</sup>  | 0.50 <sup>c</sup>   | 0.43 <sup>d</sup>  | 0.38 <sup>e</sup>  | 0.43 <sup>d</sup>                | 0.37 <sup>e</sup>                    | 0.02                    |
| 22:0      | 0.61 <sup>ab</sup> | 0.36 <sup>b</sup>  | 0.37 <sup>b</sup>   | 0.33 <sup>b</sup>  | 0.40 <sup>b</sup>  | 0.87 <sup>a</sup>                | 0.52 <sup>ab</sup>                   | 0.06                    |
| 23:0      | 0.25 <sup>a</sup>  | 0.22 <sup>ab</sup> | 0.23 <sup>ab</sup>  | 0.20 <sup>ab</sup> | 0.21 <sup>ab</sup> | 0.26 <sup>a</sup>                | 0.14 <sup>b</sup>                    | 0.01                    |
| 24:0      | 3.12 <sup>a</sup>  | 2.71 <sup>b</sup>  | 2.44 <sup>b</sup>   | 2.07 <sup>c</sup>  | 1.92 <sup>c</sup>  | 2.14 <sup>c</sup>                | 1.89 <sup>c</sup>                    | 0.10                    |
| Saturates | 33.2 <sup>ab</sup> | 32.7 <sup>ab</sup> | 33.7 <sup>a</sup>   | 32.9 <sup>ab</sup> | 33.4 <sup>ab</sup> | 33.0 <sup>ab</sup>               | 31.7 <sup>b</sup>                    | 0.21                    |
| 14:1      | 0.10               | 0.10               | 0.09                | 0.08               | 0.08               | 0.10                             | 0.09                                 | 0.00                    |
| 16:1      | 4.54 <sup>a</sup>  | 4.42 <sup>a</sup>  | 4.09 <sup>b</sup>   | 4.02 <sup>b</sup>  | 3.96 <sup>b</sup>  | 3.47 <sup>c</sup>                | 3.85 <sup>b</sup>                    | 0.08                    |
| 17:1      | 0.30 <sup>ab</sup> | 0.29 <sup>ab</sup> | 0.34 <sup>ab</sup>  | 0.36 <sup>a</sup>  | 0.33 <sup>ab</sup> | 0.27 <sup>b</sup>                | 0.28 <sup>ab</sup>                   | 0.01                    |
| 18:1      | 22.4 <sup>e</sup>  | 24.4 <sup>d</sup>  | 25.9 <sup>c</sup>   | 28.6 <sup>a</sup>  | 28.6 <sup>a</sup>  | 25.1 <sup>cd</sup>               | 27.0 <sup>b</sup>                    | 0.48                    |
| 20:1      | 0.98 <sup>a</sup>  | 0.92 <sup>ab</sup> | 0.95 <sup>ab</sup>  | 0.91 <sup>b</sup>  | 0.88 <sup>bc</sup> | 0.90 <sup>bc</sup>               | 0.84 <sup>c</sup>                    | 0.01                    |

Table 18. Continued

|               | Diets <sup>2</sup> |                    |                     |                    |                     |                                  |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|---------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|               | Cont.              | BT <sub>25</sub>   | BT <sub>50</sub>    | BT <sub>75</sub>   | BT <sub>100</sub>   | BT <sub>63</sub> D <sub>20</sub> | BT <sub>75.9</sub> D <sub>24.1</sub> |                         |
| 22:1          | 0.22               | 0.17               | 0.21                | 0.18               | 0.19                | 0.23                             | 0.15                                 | 0.01                    |
| MUFA          | 28.5 <sup>d</sup>  | 30.3 <sup>c</sup>  | 31.6 <sup>b</sup>   | 34.1 <sup>a</sup>  | 34.0 <sup>a</sup>   | 30.1 <sup>c</sup>                | 32.2 <sup>b</sup>                    | 0.45                    |
| 18:2n-6       | 18.6 <sup>ab</sup> | 18.8 <sup>a</sup>  | 18.1 <sup>c</sup>   | 18.3 <sup>bc</sup> | 18.0 <sup>c</sup>   | 17.3 <sup>d</sup>                | 17.3 <sup>d</sup>                    | 0.13                    |
| 18:3n-6       | 1.89 <sup>a</sup>  | 1.84 <sup>a</sup>  | 1.63 <sup>b</sup>   | 1.66 <sup>b</sup>  | 1.52 <sup>bc</sup>  | 1.44 <sup>c</sup>                | 1.51 <sup>bc</sup>                   | 0.04                    |
| 18:3n-3       | 0.69 <sup>a</sup>  | 0.64 <sup>a</sup>  | 0.57 <sup>b</sup>   | 0.56 <sup>b</sup>  | 0.51 <sup>b</sup>   | 0.51 <sup>b</sup>                | 0.52 <sup>b</sup>                    | 0.02                    |
| 20:2          | 0.23 <sup>a</sup>  | 0.15 <sup>bc</sup> | 0.19 <sup>abc</sup> | 0.16 <sup>bc</sup> | 0.18 <sup>abc</sup> | 0.22 <sup>ab</sup>               | 0.13 <sup>c</sup>                    | 0.01                    |
| 20:3          | 0.83 <sup>ab</sup> | 0.79 <sup>ab</sup> | 0.79 <sup>ab</sup>  | 0.71 <sup>b</sup>  | 0.76 <sup>ab</sup>  | 0.83 <sup>a</sup>                | 0.75 <sup>ab</sup>                   | 0.01                    |
| 20:5n-3       | 5.06 <sup>a</sup>  | 4.60 <sup>a</sup>  | 4.04 <sup>b</sup>   | 3.59 <sup>bc</sup> | 3.40 <sup>c</sup>   | 3.78 <sup>bc</sup>               | 3.41 <sup>c</sup>                    | 0.14                    |
| 22:2          | 0.30 <sup>a</sup>  | 0.25 <sup>ab</sup> | 0.22 <sup>b</sup>   | 0.20 <sup>b</sup>  | 0.11 <sup>c</sup>   | 0.21 <sup>b</sup>                | 0.19 <sup>c</sup>                    | 0.01                    |
| 22:6n-3       | 10.8 <sup>bc</sup> | 9.96 <sup>cd</sup> | 9.06 <sup>de</sup>  | 7.73 <sup>e</sup>  | 8.02 <sup>e</sup>   | 12.6 <sup>a</sup>                | 12.3 <sup>ab</sup>                   | 0.43                    |
| n-6           | 20.5 <sup>ab</sup> | 20.6 <sup>a</sup>  | 19.8 <sup>bc</sup>  | 20.0 <sup>c</sup>  | 19.6 <sup>c</sup>   | 18.7 <sup>d</sup>                | 18.8 <sup>d</sup>                    | 0.16                    |
| n-3           | 16.5 <sup>a</sup>  | 15.2 <sup>ab</sup> | 13.7 <sup>bc</sup>  | 11.9 <sup>c</sup>  | 11.9 <sup>c</sup>   | 16.9 <sup>a</sup>                | 16.2 <sup>a</sup>                    | 0.49                    |
| n-3/n-6 ratio | 0.81 <sup>ab</sup> | 0.74 <sup>bc</sup> | 0.69 <sup>cd</sup>  | 0.59 <sup>d</sup>  | 0.61 <sup>d</sup>   | 0.90 <sup>a</sup>                | 0.86 <sup>a</sup>                    | 0.03                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Cont.; Fish oil 100%, BT<sub>25</sub>; Fish oil 75%+Beef tallow 25%, BT<sub>50</sub>; Fish oil 50%+Beef tallow 50%, BT<sub>75</sub>; Fish oil 25%+Beef tallow 75%, BT<sub>100</sub>; Beef tallow 100%, BT<sub>63</sub>D<sub>20</sub>; Fish oil 17%+Beef tallow 63%+DHA 20%, BT<sub>75.9</sub>D<sub>24.1</sub>; Beef tallow 75.9%+DHA 24.1%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean : SD/ $\sqrt{n}$ .

Table 19. Liver fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks<sup>1</sup>

|           | Diets <sup>2</sup> |                    |                     |                     |                    |                                  |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|           | Cont.              | BT <sub>25</sub>   | BT <sub>50</sub>    | BT <sub>75</sub>    | BT <sub>100</sub>  | BT <sub>63</sub> D <sub>20</sub> | BT <sub>75.9</sub> D <sub>24.1</sub> |                         |
| 14:0      | 2.88 <sup>a</sup>  | 2.67 <sup>b</sup>  | 2.43 <sup>c</sup>   | 2.43 <sup>c</sup>   | 2.32 <sup>cd</sup> | 2.35 <sup>cd</sup>               | 2.18 <sup>d</sup>                    | 0.05                    |
| 15:0      | 0.37 <sup>a</sup>  | 0.37 <sup>a</sup>  | 0.34 <sup>ab</sup>  | 0.31 <sup>bcd</sup> | 0.30 <sup>cd</sup> | 0.33 <sup>abc</sup>              | 0.29 <sup>d</sup>                    | 0.01                    |
| 16:0      | 16.0 <sup>c</sup>  | 16.6 <sup>bc</sup> | 17.2 <sup>abc</sup> | 18.0 <sup>a</sup>   | 18.6 <sup>a</sup>  | 18.2 <sup>a</sup>                | 17.5 <sup>abc</sup>                  | 0.24                    |
| 17:0      | 0.65               | 0.66               | 0.64                | 0.60                | 0.62               | 0.69                             | 0.62                                 | 0.01                    |
| 18:0      | 2.83 <sup>b</sup>  | 2.75 <sup>b</sup>  | 2.89 <sup>b</sup>   | 3.19 <sup>ab</sup>  | 3.68 <sup>a</sup>  | 3.48 <sup>a</sup>                | 3.25 <sup>ab</sup>                   | 0.09                    |
| 20:0      | 2.77               | 2.61               | 2.56                | 2.69                | 2.66               | 2.36                             | 2.39                                 | 0.06                    |
| 21:0      | 0.67 <sup>a</sup>  | 0.55 <sup>ab</sup> | 0.54 <sup>ab</sup>  | 0.44 <sup>b</sup>   | 0.25 <sup>c</sup>  | 0.50 <sup>ab</sup>               | 0.48 <sup>b</sup>                    | 0.03                    |
| 22:0      | 0.70               | 0.61               | 0.62                | 0.64                | 0.66               | 0.54                             | 0.64                                 | 0.02                    |
| 23:0      | 0.40 <sup>cd</sup> | 0.37 <sup>cd</sup> | 0.48 <sup>bc</sup>  | 0.35 <sup>d</sup>   | 0.33 <sup>d</sup>  | 0.65 <sup>a</sup>                | 0.56 <sup>ab</sup>                   | 0.03                    |
| 24:0      | 2.30 <sup>a</sup>  | 1.68 <sup>b</sup>  | 1.57 <sup>b</sup>   | 1.28 <sup>bc</sup>  | 1.10 <sup>c</sup>  | 1.43 <sup>bc</sup>               | 1.55 <sup>b</sup>                    | 0.09                    |
| Saturates | 29.6               | 28.9               | 29.3                | 29.9                | 30.5               | 30.5                             | 29.4                                 | 0.23                    |
| 14:1      | 0.11 <sup>a</sup>  | 0.11 <sup>a</sup>  | 0.10 <sup>ab</sup>  | 0.09 <sup>ab</sup>  | 0.08 <sup>b</sup>  | 0.09 <sup>ab</sup>               | 0.08 <sup>b</sup>                    | 0.00                    |
| 16:1      | 5.70 <sup>a</sup>  | 5.46 <sup>ab</sup> | 5.12 <sup>b</sup>   | 4.71 <sup>c</sup>   | 4.37 <sup>cd</sup> | 4.07 <sup>d</sup>                | 4.17 <sup>d</sup>                    | 0.14                    |
| 17:1      | 0.40 <sup>ab</sup> | 0.42 <sup>a</sup>  | 0.40 <sup>ab</sup>  | 0.43 <sup>a</sup>   | 0.40 <sup>ab</sup> | 0.33 <sup>c</sup>                | 0.36 <sup>bc</sup>                   | 0.01                    |
| 18:1      | 29.7 <sup>cd</sup> | 31.1 <sup>bc</sup> | 32.0 <sup>b</sup>   | 34.2 <sup>a</sup>   | 34.9 <sup>a</sup>  | 29.0 <sup>d</sup>                | 31.3 <sup>bc</sup>                   | 0.49                    |
| 20:1      | 1.83 <sup>a</sup>  | 1.69 <sup>ab</sup> | 1.68 <sup>ab</sup>  | 1.68 <sup>ab</sup>  | 1.60 <sup>b</sup>  | 1.70 <sup>ab</sup>               | 1.66 <sup>ab</sup>                   | 0.02                    |

Table 19. Continued

|               | Diets <sup>2</sup> |                    |                     |                    |                   |                                  |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|---------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|               | Cont.              | BT <sub>25</sub>   | BT <sub>50</sub>    | BT <sub>75</sub>   | BT <sub>100</sub> | BT <sub>63</sub> D <sub>20</sub> | BT <sub>75.9</sub> D <sub>24.1</sub> |                         |
| 22:1          | 0.46               | 0.43               | 0.42                | 0.37               | 0.39              | 0.39                             | 0.39                                 | 0.01                    |
| MUFA          | 38.2 <sup>c</sup>  | 39.2 <sup>bc</sup> | 39.7 <sup>abc</sup> | 41.4 <sup>ab</sup> | 41.8 <sup>a</sup> | 35.6 <sup>d</sup>                | 37.9 <sup>c</sup>                    | 0.50                    |
| 18:2n-6       | 19.6               | 20.8               | 20.4                | 19.8               | 19.8              | 21.0                             | 19.9                                 | 0.18                    |
| 18:3n-6       | 1.41 <sup>a</sup>  | 1.37 <sup>a</sup>  | 1.25 <sup>ab</sup>  | 1.11 <sup>bc</sup> | 0.98 <sup>c</sup> | 1.14 <sup>bc</sup>               | 1.13 <sup>bc</sup>                   | 0.04                    |
| 18:3n-3       | 0.44 <sup>a</sup>  | 0.37 <sup>ab</sup> | 0.33 <sup>ab</sup>  | 0.32 <sup>ab</sup> | 0.26 <sup>b</sup> | 0.31 <sup>b</sup>                | 0.33 <sup>ab</sup>                   | 0.02                    |
| 20:2          | 0.31 <sup>a</sup>  | 0.31 <sup>a</sup>  | 0.28 <sup>b</sup>   | 0.25 <sup>b</sup>  | 0.22 <sup>c</sup> | 0.26 <sup>b</sup>                | 0.25 <sup>b</sup>                    | 0.01                    |
| 20:3          | 0.96 <sup>b</sup>  | 0.96 <sup>b</sup>  | 0.98 <sup>b</sup>   | 0.87 <sup>b</sup>  | 0.88 <sup>b</sup> | 1.24 <sup>a</sup>                | 1.11 <sup>ab</sup>                   | 0.04                    |
| 20:5n-3       | 3.27 <sup>a</sup>  | 3.03 <sup>ab</sup> | 2.72 <sup>bc</sup>  | 2.28 <sup>cd</sup> | 2.04 <sup>d</sup> | 2.84 <sup>ab</sup>               | 2.60 <sup>bc</sup>                   | 0.10                    |
| 22:2          | 0.20 <sup>a</sup>  | 0.09 <sup>b</sup>  | 0.14 <sup>ab</sup>  | 0.11 <sup>ab</sup> | 0.04 <sup>b</sup> | 0.04 <sup>b</sup>                | 0.08 <sup>b</sup>                    | 0.02                    |
| 22:6n-3       | 5.59 <sup>b</sup>  | 4.61 <sup>bc</sup> | 4.70 <sup>bc</sup>  | 3.80 <sup>c</sup>  | 3.53 <sup>c</sup> | 7.08 <sup>a</sup>                | 7.31 <sup>a</sup>                    | 0.34                    |
| n-6           | 21.0               | 22.2               | 21.7                | 20.9               | 20.8              | 22.1                             | 21.0                                 | 0.19                    |
| n-3           | 9.30 <sup>a</sup>  | 8.01 <sup>bc</sup> | 7.76 <sup>bc</sup>  | 6.40 <sup>cd</sup> | 5.83 <sup>d</sup> | 10.2 <sup>a</sup>                | 10.2 <sup>a</sup>                    | 0.41                    |
| n-3/n-6 ratio | 0.44 <sup>ab</sup> | 0.36 <sup>bc</sup> | 0.36 <sup>bc</sup>  | 0.31 <sup>c</sup>  | 0.28 <sup>c</sup> | 0.46 <sup>a</sup>                | 0.49 <sup>a</sup>                    | 0.02                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Cont.; Fish oil 100%, BT<sub>25</sub>; Fish oil 75%+Beef tallow 25%, BT<sub>50</sub>; Fish oil 50%+Beef tallow 50%, BT<sub>75</sub>; Fish oil 25%+Beef tallow 75%, BT<sub>100</sub>; Beef tallow 100%, BT<sub>63</sub>D<sub>20</sub>; Fish oil 17%+Beef tallow 63%+DHA 20%, BT<sub>75.9</sub>D<sub>24.1</sub>; Beef tallow 75.9%+DHA 24.1%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean : SD/ $\sqrt{n}$ .

## 2. 계유의 어유 대체 가능성 연구

### 1) 성장평가

8주 동안 사육한 넙치의 성장 결과는 Table 20에 나타내었다. 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 어유를 계유로 50%로 대체한 실험구가 계유를 75% 및 100%로 보다 유의하게 낮은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 대조구에 있어서는 다른 실험구간에 있어서는 유의한 차이가 없었다. 또한 계유에 DHA를 14.4% 및 17.2%를 첨가하여 공급한 실험구가 대조구에 비하여 유의한 차이가 없었다. 사료효율(FE)에 있어서 106~115 이었으며, 단백질전환효율(PER)에 있어서 3.36~3.61로 전 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 또한 전 실험기간 생존율에 있어서 생존율이 93.3~100%로 유의한 차이가 없었다.

### 2) 혈액분석

8주 동안 사육한 넙치의 혈액분석 결과는 Table 21에 나타내었다. 전혈 헤마토크리트수치(PCV)에 있어서 계유를 68.6%+DHA14.4%구에 있어서 대조구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 어유를 계유로 75% 대체하여 공급한 실험구가 대조구비 비하여 유의하게 낮은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 적혈구세포수(RBC)에 있어서는 헤마토크리트와 유사한 경향을 나타내었으며, 계유를 68.6%+DHA14.4%구를 제외한 실험구간에 있어서는 유의한 차이가 없었다. 헤모글로빈(Hb)에 있어서는 대조구에 비하여 계유를 75% 대체한 실험구에 있어서 유의하게 낮은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 나머지 실험구와는 유의한 차이가 없었다. 혈청내 GOT에 있어서는 대조구와 비하여 전 실험구간에 유의한 차이는 없었으나 계유를 50% 대체한 실험구가 가장 높은 값을 나타내었다. 혈청 GPT에 있어서는 전실험구간에 유의한 차이가 없었다.

### 3) 전어체 일반성분 분석

8주 동안 사육한 넙치의 전어체 일반성분 분석 결과는 Table 22에 나타내었다. 전실험구간에 있어서 수분, 조단백질, 지질 및 조회분에 있어서 유의한 차이가 없었다. 수분 함량은 73.4~75.1%, 조단백 함량은 건물기준으로 23.4~25.4% 및 조지방 함량은 4.79~5.65% 수준이었다. 또한 조회분 함량에 있어서는 4.61~5.14% 함량이었다.

### 4) 전어체 지방산 조성 분석

8주 동안 사육한 넙치의 전어체 지방산 조성 분석 결과는 Table 23에 나타내었다. 포화지방산 함량에 있어서 전실험구간에 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 31.6~33.2 수준으로 나타내었다. 하지만 이중결합이 하나 있는 불포화지방산의 경우 대조구가 계유를 수준별로 대체한 실험구보다 유의하게 낮은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 고도불포화 지방산(n-3 HUFA)인 20:5n-3(EPA)에 있어서 대조구가 다른 실험구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), 어유를 계유로 수준별로 대체할수록 20:5n-3의 함량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 22:6n-3(DHA)에 있어서 20:5n-3 수준과 비슷한 경향을 보였으나 계유 68.6%+DHA 14.4%구에 있어서 계유 50%, 75%, 100% 및 계유에 82.8%+DHA 17.2%구에 있어서 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). n-3 지방산에 있어서 어유를 계유로 수준별로 대체할수록 함량이 감소하였으며, 대조구와 있어서 계유 50%, 75%, 100% 및 계유에 82.8%+DHA 17.2%구간에 유의한 차이가 있었다( $P<0.05$ ).

### 5) 간의 지방산 조성 분석

8주 동안 사육한 넙치 간의 지방산 조성 분석 결과는 Table 24에 나타내었다. 포화지방산 함량에 있어서 전실험구간에 통계적으로 유의한 차이가 없었

으며, 29.0~31.2 수준으로 나타내었다. 또한 이중결합이 하나 있는 불포화지방산의 경우에 있어서도 실험구간에 유의한 차이가 없었으며, 35.1~39.7의 수준을 나타내었다. 고도불포화 지방산(n-3 HUFA)인 20:5n-3(EPA)에 있어서는 대조구, 어유를 계유로 25% 대체한 실험구 및 계유 68.6%+DHA14.4%를 대체한 실험구가 다른 실험구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었다 ( $P<0.05$ ). 또한 어유를 계유로 수준별로 대체할수록 20:5n-3의 함량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 22:6n-3(DHA) 함량에 있어서는 계유 68.6%+DHA14.4%구가 다른 실험구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었으며( $P<0.05$ ), EPA와 같이 어유를 계유로 수준별로 대체할수록 감소하는 경향을 확인 할 수 있었다. n-3 지방산에 있어서 또한 DHA와 같은 경향을 나타내었다.



Table 20. Weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER) and survival rate(%) of juvenile olive flounder fed the seven experimental different diets for 8 weeks<sup>1</sup>

|                     | Diets <sup>2</sup> |                   |                   |                   |                   |                                      |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|                     | Cont.              | PO <sub>25</sub>  | PO <sub>50</sub>  | PO <sub>75</sub>  | PO <sub>100</sub> | PO <sub>68.6</sub> D <sub>14.4</sub> | PO <sub>82.8</sub> D <sub>17.2</sub> |                         |
| WG (%) <sup>4</sup> | 340 <sup>ab</sup>  | 346 <sup>a</sup>  | 323 <sup>b</sup>  | 344 <sup>a</sup>  | 346 <sup>a</sup>  | 339 <sup>ab</sup>                    | 333 <sup>ab</sup>                    | 2.48                    |
| SGR <sup>5</sup>    | 3.08 <sup>ab</sup> | 3.14 <sup>a</sup> | 2.93 <sup>b</sup> | 3.12 <sup>a</sup> | 3.14 <sup>a</sup> | 3.07 <sup>ab</sup>                   | 3.02 <sup>ab</sup>                   | 0.02                    |
| FE (%) <sup>6</sup> | 106                | 107               | 108               | 113               | 115               | 110                                  | 110                                  | 1.30                    |
| PER <sup>7</sup>    | 3.31               | 3.36              | 3.38              | 3.53              | 3.61              | 3.45                                 | 3.45                                 | 0.04                    |
| Survival rate (%)   | 93.3               | 93.3              | 97.8              | 93.3              | 95.6              | 95.6                                 | 100                                  | 1.33                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Cont.; FO 100%, PO<sub>25</sub>; Fish oil 75%+poultry oil 25%, PO<sub>50</sub>; Fish oil 50%+poultry oil 50%, PO<sub>75</sub>; Fish oil 25%+poultry oil 75%, PO<sub>100</sub>; poultry oil 100%, PO<sub>68.6</sub>+D<sub>14.4</sub>; Fish oil 17.0%+poultry oil 68.6%+DHA 14.4%, PO<sub>82.8</sub>+D<sub>17.2</sub>; poultry oil 82.8%+DHA 17.2%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean : SD/√n.

<sup>4</sup>Weight gain (%) : [(final wt.(g) - initial wt.(g)) / initial wt.(g)] × 100.

<sup>5</sup>Specific growth rate : [loge (final wt.) - loge (initial wt.)/days] × 100.

<sup>6</sup>Feed efficiency (%) : (wet weight gain / dry feed intake) × 100.

<sup>7</sup>Protein efficiency ratio : wet wt. gain / protein intake.

Table 21. Serological characteristics of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks<sup>1</sup>

|                             | Diets <sup>2</sup> |                     |                     |                    |                     |                                      |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|-----------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|                             | Cont.              | PO <sub>25</sub>    | PO <sub>50</sub>    | PO <sub>75</sub>   | PO <sub>100</sub>   | PO <sub>68.6</sub> D <sub>14.4</sub> | PO <sub>82.8</sub> D <sub>17.2</sub> |                         |
| PCV <sup>4</sup>            | 22.3 <sup>b</sup>  | 21.1 <sup>bc</sup>  | 23.7 <sup>b</sup>   | 18.7 <sup>c</sup>  | 22.2 <sup>b</sup>   | 27.7 <sup>a</sup>                    | 19.4 <sup>bc</sup>                   | 0.70                    |
| RBC <sup>5</sup>            | 2.75 <sup>b</sup>  | 2.57 <sup>b</sup>   | 2.78 <sup>b</sup>   | 2.37 <sup>b</sup>  | 2.72 <sup>b</sup>   | 3.28 <sup>a</sup>                    | 2.36 <sup>b</sup>                    | 0.08                    |
| Hb <sup>6</sup>             | 11.7 <sup>ab</sup> | 10.4 <sup>bc</sup>  | 11.0 <sup>abc</sup> | 9.9 <sup>c</sup>   | 11.1 <sup>abc</sup> | 12.2 <sup>a</sup>                    | 9.9 <sup>bc</sup>                    | 0.22                    |
| GOT <sup>7</sup>            | 40.7 <sup>ab</sup> | 36.1 <sup>ab</sup>  | 43.0 <sup>a</sup>   | 24.0 <sup>b</sup>  | 33.0 <sup>ab</sup>  | 24.0 <sup>b</sup>                    | 27.0 <sup>ab</sup>                   | 2.10                    |
| GPT <sup>8</sup>            | 3.00               | 2.03                | 2.00                | 1.67               | 2.33                | 2.33                                 | 2.00                                 | 0.18                    |
| Cholestrol <sup>9</sup>     | 188 <sup>ab</sup>  | 156 <sup>b</sup>    | 157 <sup>b</sup>    | 163 <sup>ab</sup>  | 174 <sup>ab</sup>   | 193 <sup>a</sup>                     | 163 <sup>ab</sup>                    | 4.24                    |
| Glucose <sup>10</sup>       | 12.0 <sup>c</sup>  | 20.2 <sup>a</sup>   | 19.3 <sup>ab</sup>  | 18.3 <sup>ab</sup> | 18.3 <sup>ab</sup>  | 18.0 <sup>ab</sup>                   | 17.0 <sup>b</sup>                    | 0.35                    |
| HDL <sup>11</sup>           | 26.3 <sup>b</sup>  | 25.8 <sup>b</sup>   | 27.3 <sup>b</sup>   | 28.3 <sup>ab</sup> | 29.0 <sup>ab</sup>  | 32.0 <sup>a</sup>                    | 20.3 <sup>ab</sup>                   | 0.53                    |
| LDL <sup>12</sup>           | 24.3 <sup>ab</sup> | 13.5 <sup>abc</sup> | 7.3 <sup>c</sup>    | 9.7 <sup>bc</sup>  | 14.7 <sup>abc</sup> | 26.0 <sup>a</sup>                    | 10.3 <sup>abc</sup>                  | 1.94                    |
| Total protein <sup>13</sup> | 3.07 <sup>a</sup>  | 2.78 <sup>ab</sup>  | 2.80 <sup>ab</sup>  | 2.83 <sup>ab</sup> | 2.67 <sup>b</sup>   | 2.77 <sup>b</sup>                    | 2.70 <sup>b</sup>                    | 0.03                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Cont.; FO 100%, PO<sub>25</sub>; Fish oil 75%+poultry oil 25%, PO<sub>50</sub>; Fish oil 50%+poultry oil 50%, PO<sub>75</sub>; Fish oil 25%+poultry oil

75%, PO<sub>100</sub>; poultry oil 100%, PO<sub>68.6+D14.4</sub>; Fish oil 17.0%+poultry oil 68.6%+DHA 14.4%, PO<sub>82.8+D17.2</sub>; poultry oil 82.8%+DHA 17.2%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean :  $SD/\sqrt{n}$ .

<sup>4</sup>PCV (%) = Haematocrit.

<sup>5</sup>RBC (g/dL) = Red blood cell.

<sup>6</sup>Hb (g/dL) = Hemoglobin.

<sup>7</sup>GOT (IU/L) = Glutamic oxaloacetic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0  $\mu$ mol of L-aspartate per minute at 25°C and pH 7.4.

<sup>8</sup>GPT (IU/L) = Glutamic pyruvic transaminase. One unit is defined as the amount of enzyme causing the transamination of 1.0  $\mu$ mol of L-alanine per minute at 25°C and pH 7.4.

<sup>9</sup>Cholesterol (mg/dL).

<sup>10</sup>Glucose (mg/dL).

<sup>11</sup>HDL (mg/dL) = High density lipid.

<sup>12</sup>LDL (mg/dL) = Low density lipid.

<sup>13</sup>Total protein (g/dL).

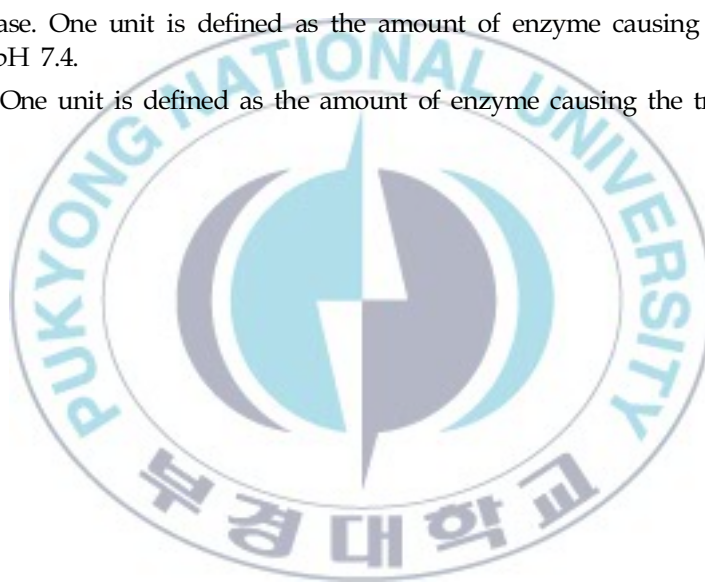


Table 22. Whole body composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks (% of dry matter basis)<sup>1</sup>

|               | Diets <sup>2</sup> |                  |                  |                  |                   |                                      |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|---------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|               | Cont.              | PO <sub>25</sub> | PO <sub>50</sub> | PO <sub>75</sub> | PO <sub>100</sub> | PO <sub>68.6</sub> D <sub>14.4</sub> | PO <sub>82.8</sub> D <sub>17.2</sub> |                         |
| Moisture      | 73.4               | 75.1             | 74.6             | 74.0             | 74.7              | 74.8                                 | 73.9                                 | 0.17                    |
| Crude protein | 69.3               | 64.7             | 69.3             | 70.2             | 69.4              | 71.5                                 | 71.9                                 | 0.51                    |
| Crude lipid   | 14.6               | 15.3             | 16.6             | 16.0             | 16.1              | 14.2                                 | 14.6                                 | 0.21                    |
| Crude ash     | 13.7               | 13.9             | 13.9             | 14.2             | 14.3              | 14.3                                 | 14.5                                 | 0.06                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Cont.; FO 100%, PO<sub>25</sub>; Fish oil 75%+poultry oil 25%, PO<sub>50</sub>; Fish oil 50%+poultry oil 50%, PO<sub>75</sub>; Fish oil 25%+poultry oil 75%, PO<sub>100</sub>; poultry oil 100%, PO<sub>68.6</sub>+D<sub>14.4</sub>; Fish oil 17.0%+poultry oil 68.6%+DHA 14.4%, PO<sub>82.8</sub>+D<sub>17.2</sub>; poultry oil 82.8%+DHA 17.2%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean : SD/ $\sqrt{n}$ .

Table 23. Whole body fatty acids composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks<sup>1</sup>

|           | Diets <sup>2</sup> |                     |                    |                    |                    |                                      |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|-----------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|           | Cont.              | PO <sub>25</sub>    | PO <sub>50</sub>   | PO <sub>75</sub>   | PO <sub>100</sub>  | PO <sub>68.6</sub> D <sub>14.4</sub> | PO <sub>82.8</sub> D <sub>17.2</sub> |                         |
| 14:0      | 3.27 <sup>a</sup>  | 2.86 <sup>b</sup>   | 2.76 <sup>bc</sup> | 2.29 <sup>d</sup>  | 2.16 <sup>d</sup>  | 2.46 <sup>cd</sup>                   | 2.10 <sup>d</sup>                    | 0.10                    |
| 15:0      | 0.36 <sup>a</sup>  | 0.33 <sup>b</sup>   | 0.31 <sup>c</sup>  | 0.27 <sup>d</sup>  | 0.26 <sup>d</sup>  | 0.29 <sup>d</sup>                    | 0.26 <sup>d</sup>                    | 0.01                    |
| 16:0      | 17.6 <sup>c</sup>  | 18.1 <sup>c</sup>   | 19.0 <sup>ab</sup> | 19.2 <sup>a</sup>  | 19.0 <sup>ab</sup> | 18.3 <sup>bc</sup>                   | 19.5 <sup>a</sup>                    | 0.16                    |
| 17:0      | 0.37 <sup>a</sup>  | 0.35 <sup>b</sup>   | 0.33 <sup>c</sup>  | 0.30 <sup>d</sup>  | 0.29 <sup>e</sup>  | 0.32 <sup>c</sup>                    | 0.31 <sup>d</sup>                    | 0.01                    |
| 18:0      | 3.82 <sup>b</sup>  | 4.00 <sup>ab</sup>  | 3.96 <sup>ab</sup> | 4.12 <sup>a</sup>  | 4.25 <sup>a</sup>  | 4.07 <sup>ab</sup>                   | 4.18 <sup>a</sup>                    | 0.04                    |
| 20:0      | 3.11 <sup>a</sup>  | 1.32 <sup>d</sup>   | 2.69 <sup>b</sup>  | 2.44 <sup>bc</sup> | 2.28 <sup>c</sup>  | 2.61 <sup>bc</sup>                   | 2.45 <sup>bc</sup>                   | 0.07                    |
| 21:0      | 0.68 <sup>a</sup>  | 0.58 <sup>c</sup>   | 0.49 <sup>c</sup>  | 0.38 <sup>d</sup>  | 0.37 <sup>d</sup>  | 0.40 <sup>d</sup>                    | 0.30 <sup>e</sup>                    | 0.03                    |
| 22:0      | 0.61 <sup>ab</sup> | 0.37 <sup>b</sup>   | 0.72 <sup>ab</sup> | 0.46 <sup>ab</sup> | 0.78 <sup>ab</sup> | 1.34 <sup>a</sup>                    | 0.63 <sup>ab</sup>                   | 0.10                    |
| 23:0      | 0.25               | -                   | 0.21               | 0.19               | 0.19               | 0.22                                 | 0.16                                 | 0.02                    |
| 24:0      | 3.12 <sup>a</sup>  | 2.71 <sup>b</sup>   | 2.31 <sup>c</sup>  | 1.88 <sup>d</sup>  | 1.99 <sup>d</sup>  | 1.93 <sup>d</sup>                    | 1.63 <sup>e</sup>                    | 0.11                    |
| Saturates | 33.2               | 32.1                | 32.7               | 31.6               | 31.5               | 31.9                                 | 32.9                                 | 0.26                    |
| 14:1      | 0.10 <sup>a</sup>  | 0.09 <sup>ab</sup>  | 0.08 <sup>b</sup>  | 0.07 <sup>bc</sup> | 0.06 <sup>d</sup>  | 0.08 <sup>bc</sup>                   | 0.06 <sup>c</sup>                    | 0.00                    |
| 16:1      | 4.54 <sup>c</sup>  | 4.95 <sup>ab</sup>  | 4.57 <sup>c</sup>  | 5.14 <sup>a</sup>  | 4.98 <sup>ab</sup> | 4.43 <sup>c</sup>                    | 4.75 <sup>bc</sup>                   | 0.06                    |
| 17:1      | 0.30 <sup>a</sup>  | 0.20 <sup>abc</sup> | 0.27 <sup>ab</sup> | 0.15 <sup>bc</sup> | 0.12 <sup>c</sup>  | 0.26 <sup>ab</sup>                   | 0.21 <sup>abc</sup>                  | 0.02                    |
| 18:1      | 22.4 <sup>d</sup>  | 25.2 <sup>c</sup>   | 25.9 <sup>bc</sup> | 27.7 <sup>a</sup>  | 26.9 <sup>ab</sup> | 26.0 <sup>bc</sup>                   | 27.3 <sup>ab</sup>                   | 0.40                    |
| 20:1      | 0.98 <sup>b</sup>  | 2.17 <sup>a</sup>   | 0.93 <sup>b</sup>  | 0.89 <sup>bc</sup> | 0.92 <sup>b</sup>  | 0.86 <sup>c</sup>                    | 0.84 <sup>c</sup>                    | 0.01                    |

Table 23. Continued

|               | Diets <sup>2</sup> |                    |                    |                     |                     |                                      |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|               | Cont.              | PO <sub>25</sub>   | PO <sub>50</sub>   | PO <sub>75</sub>    | PO <sub>100</sub>   | PO <sub>68.6</sub> D <sub>14.4</sub> | PO <sub>82.8</sub> D <sub>17.2</sub> |                         |
| 22:1          | 0.22               | 0.19               | 0.22               | 0.18                | 0.21                | 0.27                                 | 0.20                                 | 0.02                    |
| MUFA          | 28.5 <sup>d</sup>  | 31.5 <sup>c</sup>  | 31.9 <sup>bc</sup> | 34.1 <sup>ab</sup>  | 33.1 <sup>abc</sup> | 31.9 <sup>bc</sup>                   | 34.7 <sup>a</sup>                    | 0.49                    |
| 18:2n-6       | 18.6 <sup>cd</sup> | 18.3 <sup>d</sup>  | 19.6 <sup>bc</sup> | 20.4 <sup>ab</sup>  | 20.6 <sup>a</sup>   | 18.5 <sup>cd</sup>                   | 19.5 <sup>bc</sup>                   | 0.22                    |
| 18:3n-6       | 1.89 <sup>a</sup>  | 0.55 <sup>bc</sup> | 1.66 <sup>b</sup>  | 1.55 <sup>bcd</sup> | 1.55 <sup>bcd</sup> | 1.46 <sup>cd</sup>                   | 1.38 <sup>d</sup>                    | 0.04                    |
| 18:3n-3       | 0.69 <sup>b</sup>  | 1.30 <sup>a</sup>  | 0.57 <sup>b</sup>  | 0.47 <sup>c</sup>   | 0.46 <sup>c</sup>   | 0.49 <sup>c</sup>                    | 0.40 <sup>d</sup>                    | 0.02                    |
| 20:2          | 0.23 <sup>b</sup>  | 0.61 <sup>a</sup>  | 0.20 <sup>b</sup>  | 0.15 <sup>b</sup>   | 0.18 <sup>b</sup>   | 0.20 <sup>b</sup>                    | 0.16 <sup>b</sup>                    | 0.02                    |
| 20:3          | 0.83               | 0.85               | 0.75               | 0.78                | 0.89                | 0.77                                 | 0.75                                 | 0.02                    |
| 20:5n-3       | 5.06 <sup>a</sup>  | 4.55 <sup>b</sup>  | 3.88 <sup>c</sup>  | 3.31 <sup>de</sup>  | 3.50 <sup>cd</sup>  | 3.38 <sup>de</sup>                   | 2.91 <sup>e</sup>                    | 0.16                    |
| 22:2          | 0.30 <sup>a</sup>  | 0.24 <sup>b</sup>  | 0.22 <sup>b</sup>  | 0.17 <sup>c</sup>   | 0.17 <sup>d</sup>   | 0.18 <sup>c</sup>                    | 0.16 <sup>c</sup>                    | 0.01                    |
| 22:6n-3       | 10.8 <sup>ab</sup> | 10.2 <sup>ab</sup> | 8.49 <sup>c</sup>  | 7.49 <sup>c</sup>   | 7.97 <sup>c</sup>   | 11.2 <sup>a</sup>                    | 9.87 <sup>b</sup>                    | 0.32                    |
| n-6           | 20.5 <sup>b</sup>  | 19.9 <sup>b</sup>  | 21.2 <sup>ab</sup> | 22.0 <sup>a</sup>   | 22.2 <sup>a</sup>   | 20.0 <sup>b</sup>                    | 20.4 <sup>b</sup>                    | 0.23                    |
| n-3           | 16.5 <sup>a</sup>  | 15.4 <sup>ab</sup> | 12.9 <sup>bc</sup> | 11.3 <sup>c</sup>   | 11.9 <sup>c</sup>   | 15.1 <sup>ab</sup>                   | 11.0 <sup>c</sup>                    | 0.14                    |
| n-3/n-6 ratio | 0.81 <sup>a</sup>  | 0.77 <sup>a</sup>  | 0.61 <sup>b</sup>  | 0.51 <sup>b</sup>   | 0.54 <sup>b</sup>   | 0.76 <sup>a</sup>                    | 0.54 <sup>b</sup>                    | 0.03                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Cont.; FO 100%, PO<sub>25</sub>; Fish oil 75%+poultry oil 25%, PO<sub>50</sub>; Fish oil 50%+poultry oil 50%, PO<sub>75</sub>; Fish oil 25%+poultry oil 75%, PO<sub>100</sub>; poultry oil 100%, PO<sub>68.6</sub>+D<sub>14.4</sub>; Fish oil 17.0%+poultry oil 68.6%+DHA 14.4%, PO<sub>82.8</sub>+D<sub>17.2</sub>; poultry oil 82.8%+DHA 17.2%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean : SD/ $\sqrt{n}$ .

Table 24. Liver fatty acid profiles composition of juvenile olive flounder fed the experimental diets for 8 weeks<sup>1</sup>

|           | Diets <sup>2</sup> |                    |                    |                    |                     |                                      |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|           | Cont.              | PO <sub>25</sub>   | PO <sub>50</sub>   | PO <sub>75</sub>   | PO <sub>100</sub>   | PO <sub>68.6</sub> D <sub>14.4</sub> | PO <sub>82.8</sub> D <sub>17.2</sub> |                         |
| 14:0      | 2.88 <sup>a</sup>  | 2.30 <sup>b</sup>  | 2.44 <sup>b</sup>  | 2.00 <sup>c</sup>  | 1.84 <sup>cd</sup>  | 1.73 <sup>d</sup>                    | 1.51 <sup>e</sup>                    | 0.10                    |
| 15:0      | 0.37 <sup>a</sup>  | 0.33 <sup>b</sup>  | 0.32 <sup>bc</sup> | 0.28 <sup>cd</sup> | 0.26 <sup>d</sup>   | 0.27 <sup>d</sup>                    | 0.27 <sup>d</sup>                    | 0.01                    |
| 16:0      | 16.0 <sup>b</sup>  | 16.6 <sup>ab</sup> | 17.7 <sup>ab</sup> | 18.0 <sup>a</sup>  | 17.9 <sup>ab</sup>  | 16.9 <sup>ab</sup>                   | 18.52 <sup>a</sup>                   | 0.26                    |
| 17:0      | 0.65 <sup>ab</sup> | 0.63 <sup>ab</sup> | 0.70 <sup>a</sup>  | 0.64 <sup>ab</sup> | 0.57 <sup>b</sup>   | 0.61 <sup>ab</sup>                   | 0.60 <sup>b</sup>                    | 0.01                    |
| 18:0      | 2.83 <sup>ab</sup> | 2.69 <sup>b</sup>  | 3.28 <sup>a</sup>  | 3.14 <sup>ab</sup> | 2.97 <sup>ab</sup>  | 3.16 <sup>ab</sup>                   | 3.28 <sup>a</sup>                    | 0.07                    |
| 20:0      | 2.77 <sup>ab</sup> | 1.20 <sup>d</sup>  | 3.10 <sup>a</sup>  | 2.82 <sup>ab</sup> | 2.72 <sup>b</sup>   | 2.38 <sup>c</sup>                    | 2.08 <sup>c</sup>                    | 0.08                    |
| 21:0      | 0.67               | 0.67               | 0.44               | 0.54               | 0.41                | 0.65                                 | 0.49                                 | 0.04                    |
| 22:0      | 0.70 <sup>b</sup>  | 0.69 <sup>b</sup>  | 0.85 <sup>a</sup>  | 0.69 <sup>b</sup>  | 0.69 <sup>b</sup>   | 0.62 <sup>b</sup>                    | 0.50 <sup>c</sup>                    | 0.02                    |
| 23:0      | 0.40 <sup>e</sup>  | 0.47 <sup>de</sup> | 0.81 <sup>bc</sup> | 0.67 <sup>cd</sup> | 0.52 <sup>de</sup>  | 1.05 <sup>a</sup>                    | 0.89 <sup>ab</sup>                   | 0.05                    |
| 24:0      | 2.30 <sup>a</sup>  | 2.22 <sup>a</sup>  | 1.57 <sup>b</sup>  | 1.26 <sup>bc</sup> | 0.90 <sup>c</sup>   | 1.62 <sup>b</sup>                    | 1.06 <sup>c</sup>                    | 0.12                    |
| Saturates | 29.6               | 31.2               | 30.1               | 30.1               | 29.6                | 29.0                                 | 29.2                                 | 0.32                    |
| 14:1      | 0.11 <sup>a</sup>  | 0.10 <sup>b</sup>  | 0.10 <sup>b</sup>  | 0.08 <sup>c</sup>  | 0.07 <sup>c</sup>   | 0.07 <sup>c</sup>                    | 0.07 <sup>c</sup>                    | 0.00                    |
| 16:1      | 5.70 <sup>b</sup>  | 5.11 <sup>cd</sup> | 5.08 <sup>cd</sup> | 5.42 <sup>bc</sup> | 6.26 <sup>a</sup>   | 4.98 <sup>cd</sup>                   | 4.66 <sup>d</sup>                    | 0.12                    |
| 17:1      | 0.40 <sup>a</sup>  | 0.37 <sup>a</sup>  | 0.26 <sup>b</sup>  | 0.25 <sup>b</sup>  | 0.24 <sup>b</sup>   | 0.24 <sup>b</sup>                    | 0.22 <sup>b</sup>                    | 0.02                    |
| 18:1      | 29.7 <sup>bc</sup> | 28.0 <sup>bc</sup> | 29.4 <sup>bc</sup> | 30.6 <sup>ab</sup> | 32.9 <sup>a</sup>   | 27.3 <sup>c</sup>                    | 28.7 <sup>bc</sup>                   | 0.45                    |
| 20:1      | 1.83 <sup>cd</sup> | 2.78 <sup>a</sup>  | 1.23 <sup>b</sup>  | 2.12 <sup>bc</sup> | 2.06 <sup>bcd</sup> | 2.00 <sup>bcd</sup>                  | 1.71 <sup>d</sup>                    | 0.05                    |

Table 24. Continued

|               | Diets <sup>2</sup> |                    |                     |                    |                    |                                      |                                      | Pooled SEM <sup>3</sup> |
|---------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|               | Cont.              | PO <sub>25</sub>   | PO <sub>50</sub>    | PO <sub>75</sub>   | PO <sub>100</sub>  | PO <sub>68.6</sub> D <sub>14.4</sub> | PO <sub>82.8</sub> D <sub>17.2</sub> |                         |
| 22:1          | 0.46 <sup>a</sup>  | 0.47 <sup>a</sup>  | 0.58 <sup>a</sup>   | 0.54 <sup>a</sup>  | 0.50 <sup>a</sup>  | 0.50 <sup>a</sup>                    | 0.27 <sup>b</sup>                    | 0.03                    |
| MUFA          | 36.3               | 37.7               | 39.0                | 39.0               | 39.7               | 35.1                                 | 35.7                                 | 0.58                    |
| 18:2n-6       | 19.6 <sup>c</sup>  | 22.2 <sup>a</sup>  | 20.8 <sup>abc</sup> | 21.4 <sup>ab</sup> | 22.0 <sup>a</sup>  | 20.3 <sup>bc</sup>                   | 21.5 <sup>ab</sup>                   | 0.24                    |
| 18:3n-6       | 1.41 <sup>a</sup>  | 0.47 <sup>c</sup>  | 0.96 <sup>b</sup>   | 0.96 <sup>b</sup>  | 0.92 <sup>b</sup>  | 1.08 <sup>b</sup>                    | 1.06 <sup>b</sup>                    | 0.05                    |
| 18:3n-3       | 0.44 <sup>ab</sup> | 1.04 <sup>a</sup>  | 0.08 <sup>c</sup>   | 0.15 <sup>bc</sup> | 0.18 <sup>bc</sup> | 0.22 <sup>bc</sup>                   | 0.15 <sup>bc</sup>                   | 0.03                    |
| 20:2          | 0.31 <sup>b</sup>  | 1.64 <sup>a</sup>  | 0.28 <sup>bc</sup>  | 0.18 <sup>c</sup>  | 0.24 <sup>bc</sup> | 0.28 <sup>bc</sup>                   | 0.25 <sup>bc</sup>                   | 0.02                    |
| 20:3          | 0.96 <sup>bc</sup> | 0.59 <sup>c</sup>  | 1.15 <sup>ab</sup>  | 1.05 <sup>bc</sup> | 0.86 <sup>bc</sup> | 1.28 <sup>a</sup>                    | 1.34 <sup>a</sup>                    | 0.04                    |
| 20:5n-3       | 3.27 <sup>a</sup>  | 3.22 <sup>a</sup>  | 2.50 <sup>bc</sup>  | 2.24 <sup>c</sup>  | 1.74 <sup>d</sup>  | 3.11 <sup>a</sup>                    | 2.62 <sup>b</sup>                    | 0.12                    |
| 22:2          | 0.20 <sup>a</sup>  | 0.18 <sup>a</sup>  | 0.05 <sup>b</sup>   | 0.06 <sup>b</sup>  | 0.04 <sup>b</sup>  | -                                    | 0.07 <sup>b</sup>                    | 0.02                    |
| 22:6n-3       | 5.59 <sup>c</sup>  | 5.38 <sup>c</sup>  | 5.32 <sup>c</sup>   | 4.89 <sup>c</sup>  | 3.35 <sup>d</sup>  | 9.59 <sup>a</sup>                    | 8.17 <sup>b</sup>                    | 0.46                    |
| n-6           | 23.6 <sup>a</sup>  | 21.8 <sup>ab</sup> | 22.4 <sup>ab</sup>  | 22.4 <sup>ab</sup> | 22.3 <sup>ab</sup> | 21.4 <sup>b</sup>                    | 22.5 <sup>ab</sup>                   | 0.23                    |
| n-3           | 8.90 <sup>bc</sup> | 7.90 <sup>c</sup>  | 7.28 <sup>c</sup>   | 7.28 <sup>c</sup>  | 7.03 <sup>c</sup>  | 12.9 <sup>a</sup>                    | 11.0 <sup>ab</sup>                   | 0.53                    |
| n-3/n-6 ratio | 0.38 <sup>bc</sup> | 0.36 <sup>bc</sup> | 0.33 <sup>c</sup>   | 0.33 <sup>c</sup>  | 0.32 <sup>c</sup>  | 0.61 <sup>a</sup>                    | 0.49 <sup>ab</sup>                   | 0.03                    |

<sup>1</sup>Values are means of triplicate groups, and values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Cont.; FO 100%, PO<sub>25</sub>; Fish oil 75%+poultry oil 25%, PO<sub>50</sub>; Fish oil 50%+poultry oil 50%, PO<sub>75</sub>; Fish oil 25%+poultry oil 75%, PO<sub>100</sub>; poultry oil 100%, PO<sub>68.6</sub>+D<sub>14.4</sub>; Fish oil 17.0%+poultry oil 68.6%+DHA 14.4%, PO<sub>82.8</sub>+D<sub>17.2</sub>; poultry oil 82.8%+DHA 17.2%.

<sup>3</sup>Pooled standard error of mean : SD/√n.

### 제 3 절 고찰

#### 1. 우지의 어유 대체 가능성 연구

치어기 넙치에 있어서 EPA의 요구량은 1.10% 보다는 높아야 하지만, 1.59% 수준이면 충분할 것으로, DHA 요구량은 1.26% 보다는 높아야 하며, 1.68% 수준이면 충분할 것으로, 본 실험 사료내 EPA와 DHA의 수준이 1.17~2.20% 수준으로 EPA와 DHA의 각각의 요구량 수준에 포함되는 수준으로 설계되었다. 본 실험결과 넙치 사료 내 어분을 53.9% 수준을 첨가하여 사용할 경우 성장률에 있어서 어유를 우지로 100%까지 대체가 가능케 함을 알 수 있었다. 이와 상응하게 Sea bass에 있어서 어분을 50% 수준으로 하였을 경우 우지와 계유를 50%까지 대체가 가능하다고 하였는데(Xue et al., 2006), 넙치에서 이보다 우수한 결과를 확인 할 수 있었다. Lagremouth bass에서 어분을 30% 수준으로 하였을 경우 계유로 어유를 100% 대체가 가능함을 알 수 있었다(Subhadra et al., 2006). 하지만 Largemouth bass의 경우 담수 어종으로 본 실험어인 넙치와는 필수 지방산이 다른 관계로 넙치보다 낮은 수준의 어분 함량에서도 100% 대체가 가능한 것으로 사료되어진다. 또한 본 실험 결과와 유사하게 무지개 송어와 갈색송어에 있어서도 돈지와 우지를 이용할 경우 어유 대체 가능함을 알 수 있었다(Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000; Turchini et al., 2003). 그 외 무지개송어, 잉어(Takeuchi et al., 1978), 차넬메기(Fracalossi and Lovell, 1994), red sea bream(Glencross et al., 2003), 유럽산 뱀장어(Luzzana et al., 2003)에 있어서 어유와 동물성유인 우지, 돈지 및 계유가 사료내 포함될 경우 성장에 효과를 준다고 보고하였다. 또한 coho salmon(Dosanji et al., 1984), chinook salmon(Dosanji et al., 1988), rainbow trout(Greene and Selivonchick, 1990), brown trout(Turchini et al., 2003), brook charr(Guillou et al., 1995) 및 대서양연어(Rosenlund et al., 2001)에 있

어서 계유와 유채유로 어유를 부분적 또는 완전 대체가 가능하다 하였다. 또한 사료내 어분 함량을 46% 수준을 사용할 경우 Sharpsnout seabream에 있어서 어유를 100%로 대체 가능하였으며(Piedecausa et al., 2007), 또한 turbo에 있어서는 어분을 50% 수준으로 하여 대두유와 아마인유를 3개월 공급하고 다시 어유로 전환하여 공급하였을 경우 어유와 약간의 성장차이만 보였다 하였으며(Regost et al., 2003), Murray cod에 어분 함량을 10% 수준으로 하여 어유를 대체할 경우에는 아마인유로 100%로 대체가 가능하였다(Francis et al., 2006). 그 외 유채유(canola oil)를 어유 대체원으로 red sea bream에 있어서 어분을 50%수준으로 대체할 경우 어유를 100% 대체가 가능하였다(Huang et al., 2007). 하지만 Sea bass(Xue et al., 2006)에 있어서는 어분을 50%수준으로하여 돈지, 우지, 가금유, 대두유 및 옥수수수를 이용하여 어유를 대체하였으나 어유를 50%수준까지만 대체가 가능하였다. 특히, 본실험에 사용된 우지의 경우에 있어서는 수입에 의존하지 않고 자국에서 생산하여 공급함으로써 어유에 비하여 가격이 저렴한 점을 감안한다면 어유에 비하여 여러 가지 이점을 가지고 있다할 수 있다. 이렇듯 어종에 있어서 필수 지방산 요구량 특히, 해산어의 경우 EPA와 DHA의 요구량이 규명되어져 있다면 어유 대체에 관련한 연구는 큰 어려움이 없을 것으로 사료된다. 하지만 어유를 동물성유로 대체할 경우 전어체나 간에서의 n-3 HUFA인 EPA와 DHA 수준이 낮게 되는 단점을 보인다.

따라서 본 실험의 결과를 토대로 53.9% 이상의 어분을 사용할 경우 성장률에 있어서 동물성유인 우지를 양어사료의 어유 대체원으로 100%까지 사용이 가능할 것으로 사료되어지나, 근육 내 EPA와 DHA 함량이 우지를 수준별로 증가시킬수록 감소하는 부분을 감안한다면, 어유 대신에 우지를 25%수준까지 대체하면 성장 및 근육내 지방산 조성에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 사료 된다.

## 2. 계유의 어유 대체 가능성 연구

치어기 넙치에 있어서 EPA의 요구량은 1.10%보다는 높아야 하지만, 1.59% 수준이면 충분할 것이며, DHA 요구량은 1.26%보다는 높아야 하지만, 1.68% 수준이면 충분할 것으로, 본 실험 사료내 EPA와 DHA의 수준이 1.17~2.20% 수준으로 EPA와 DHA의 각각의 요구량 수준에 포함되는 수준으로 설계되었다. 본 실험결과 넙치 사료 내 어분을 53.9% 수준을 첨가하여 사용할 경우 성장률에 있어서 어유를 우지로 100%까지 대체가 가능케 함을 알 수 있었다. 이와 상응하게 Sea bass에 있어서 어분을 50% 수준으로 하였을 경우 우지와 계유를 50%까지 대체가 가능하다 하였는데(Xue et al., 2006), 넙치에서 이보다 우수한 결과를 확인 할 수 있었다. Largemouth bass에서 어분을 30% 수준으로 하였을 경우 계유로 어유를 100% 대체가 가능함을 알 수 있었다(Subhadra et al., 2006). 하지만 Largemouth bass의 경우 담수 어종으로 본 실험어인 넙치와는 필수 지방산이 다른 관계로 넙치보다 낮은 수준의 어분 함량에서도 100% 대체가 가능한 것으로 사료되어진다. 또한 본 실험 결과와 유사하게 무지개 송어와 갈색송어에 있어서도 돈지와 우지를 이 용할 경우 어유 대체 가능함을 알 수 있었다(Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000; Turchini et al., 2003). 그 외 무지개송어, 잉어(Takeuchi et al., 1978), 차넬메기(Fracalossi and Lovell, 1994), red sea bream(Glencross et al., 2003), 유럽산 뱀장어(Luzzana et al., 2003)에 있어서 어유와 동물성유인 우지, 돈지 및 계유가 사료내 포함될 경우 성장에 효과를 준다고 보고하였다. 또한 coho salmon(Dosanjh et al., 1984), chinook salmon(Dosanjh et al., 1988), rainbow trout(Greene and Selivonchick, 1990), brown trout(Turchini et al., 2003), brook charr(Guillou et al., 1995) 및 대서양연어(Rosenlund et al., 2001)에 있어서 계유와 유채유로 어유를 부분적 또는 완전 대체가 가능하다 하였다. 또한 사료내 어분 함량을 46% 수준을 사용할 경우 Sharpsnout seabream에 있

어서 어유를 100%로 대체 가능하였으며(Piedecausa et al., 2007), 또한 turbo에 있어서는 어분을 50% 수준으로 하여 대두유와 아마인유를 3개월 공급하고 다시 어유로 전환하여 공급하였을 경우 어유와 약간의 성장차이만 보였다(Regost et al., 2003). 또한, Murray cod에 어분 함량을 10% 수준으로 하여 어유를 대체할 경우에는 아마인유로 100%로 대체가 가능하였다(Francis et al., 2006). 그 외 유채유(canola oil)를 어유 대체원으로 red sea bream에 있어서 어분을 50%수준으로 대체할 경우 어유를 100% 대체가 가능하였다(Huang et al., 2007). 하지만 Sea bass(Xue et al., 2006)에 있어서는 어분을 50%수준으로하여 돈지, 우지, 가금유, 대두유 및 옥수수유를 이용하여 어유를 대체하였으나 어유를 50%수준까지만 대체가 가능하였다. 특히, 본실험에 사용된 계유의 경우에 있어서는 수입에 의존하지 않고 자국에서 생산하여 공급함으로써 어유에 비하여 가격이 저렴한 점을 감안한다면 어유에 비하여 여러 가지 이점을 가지고 있다할 수 있다. 이렇듯 어종에 있어서 필수 지방산 요구량 특히, 해산어의 경우 EPA와 DHA의 요구량이 규명되어져 있다면 어유 대체에 관련한 연구는 큰 어려움이 없을 것으로 사료된다. 하지만 어유를 동물성유로 대체할 경우 전어체나 간에서의 n-3 HUFA인 EPA와 DHA 수준이 낮게 되는 단점을 보였다.

따라서 본 실험의 결과를 토대로 53.9% 이상의 어분을 사용할 경우 성장률에 있어서 동물성유인 계유를 양어사료의 어유 대체원으로 100%까지 사용이 가능할 것으로 사료되어지나, 근육 내 EPA와 DHA 함량이 계유를 수준별로 증가시킬수록 감소하는 부분을 감안한다면, 어유 대신에 계유를 25%수준까지 대체하면 성장 및 근육내 지방산 조성에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 사료 된다.

## 제 4 장 어유 대체에 따른 경제적 가치평가

### 제 1 절 분석 대상의 선정

어유를 우지 및 계유로 대체에 따른 경제적 가치 평가를 실시하였다. 본 경제적 가치 평가를 실시하기 위해서는 우선적으로 어유, 우지 및 계유의 가격을 확인해야 하며, 다음으로 국내 양어사료 생산량을 확인하여야 경제적 가치 평가를 확인 할 수 있다. 따라서 국내 양어용 배합사료 2007년 생산실적 중 전체어류 배합사료 및 넙치사료를 대상으로 하였으며(Table 3), 어유, 우지 및 계유의 가격에 있어서는 각각 제품을 취급하는 회사에 문의하여 가격을 확인하였다(Table 25). 우선 어유 및 우지의 경우 카길(Cargill, Korea)으로부터 문의하여 실시하였으며, 계유의 경우 그린바이오테크(Green by tech, Korea)으로부터 가격을 2008년 12월 기준으로하여 경제적 가치를 평가하였다(Personal communication). 또한 양어 사료 내 어유의 사용량은 어종에 따라 다르나 치어기부터 성장기까지의 과정을 고려하여 전체 양어사료의 10%를 어유 사용량으로 가정하여 실시하였다.

Table 25. Prices of fish oil, beef tallow and poultry oil(won/kg)

| Oil sources | Price(kg/won) | Remarks           |
|-------------|---------------|-------------------|
| Fish oil    | 1,900         | Carill agripurina |
| Beef tallow | 1,100         | Carill agripurina |
| Poultry     | 1,300         | Green by tech     |



## 제 2절 비용 효율성 및 이익 마진율

비용효율성(평균비용 원/kg)은 어유를 우지 및 계유로 대체에 따른 양어용 배합사료 생산량을 기준으로하여 각각 25%, 50%, 75% 및 100% 대체시에 따른 가격으로 비용을 계산하고, 이를 양어사료를 생산하는데 드는 비용으로 환산하여 구하였다.

이익 마진률(%)은 2007년도 양어사료 생산량 기준 시 어유를 100% 사용할 경우 1,900원/kg으로 해서 kg당 우지 및 계유를 수준별로 대체 시 어유생산 원가에서 우지 및 계유로 대체 시에 따른 생산원가를 나눈 값에 100을 곱하면 100분율로 표시되는 이익 마진율을 구하였다.



### 제 3 절 결 과

어유를 우지 및 계유로 수준별 대체시에 따른 양어사료 전체 및 넙치EP사료를 대상으로 하여, 경제적 이익 및 이익 마진율을 Table 29 및 30에 나타내었다. 넙치 EP사료만을 대상으로 실시할 경우 어유를 우지로 25% 대체시 150,240,000원, 50%시 300,480,000원, 75%시 450,720,000원 및 100%시에는 600,960,000원의 이익을 계유의 경우 25% 대체시 112,680,000원, 50%시 225,360,000원, 75%시 338,040,000원 및 100%시에는 450,720,000원의 이익을 볼 수 있을 것으로 조사되었다. 어유를 우지로 대체시 이익 마진율은 각 수준별로 10.5%, 21.1%, 31.6% 및 42.1%로 이익 마진을 낼 수 있었으며, 계유로 대체시 각 수준별로 7.9%, 15.8%, 23.7% 및 31.6%로 이익 마진을 낼 수 있었다. 또한, 양어사료 전체를 대상으로 할 경우 어유를 우지로 수준별로 대체시 이익 금액은 25%시 1,918,480,000원, 50%시 3,836,960,000원, 75%시 5,755,440,000원 및 100%시에는 7,673,920,000원으로 이익 마진율은 각 수준별로 10.5%, 21.1%, 31.6% 및 42.1%로 이익 마진을 낼 수 있었다. 또한 어유를 계유로 수준별로 대체할 경우의 이익 금액은 25%시 1,438,860,000원, 50%시 2,877,720,000원, 75%시 4,316,580,000원 및 100%시에는 5,755,440,000원으로 이익 마진율은 각 수준별로 7.9%, 15.8%, 23.7% 및 31.6%로 이익 마진을 낼 수 있었다. 이익마진율은 넙치 EP사료의 마진율과 동일하였다.

전체적으로 우지와 계유 중에 어유 대체원으로 사용할 경우에는 우지가 계유보다 더 높은 이익 및 마진율을 나타냈다.

Table 26. The efficiency and profit margin in olive flounder feed

|                |                                             | 25%     | 50%     | 75%     | 100%    |
|----------------|---------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Beef<br>tallow | Total profit<br>(thousand won) <sup>1</sup> | 150,240 | 300,480 | 450,720 | 600,960 |
|                | Profit<br>margin (%) <sup>2</sup>           | 10.5    | 21.1    | 31.6    | 42.1    |
| Poultry<br>oil | Total profit<br>(thousand won) <sup>1</sup> | 112,680 | 225,360 | 338,040 | 450,720 |
|                | Profit<br>margin (%) <sup>2</sup>           | 7.9     | 15.8    | 23.7    | 31.6    |

<sup>1</sup>Total profit (thousand won) = Total revenue - Total production cost.

<sup>2</sup>Profit margin (%) = Total profit / Total production cost × 100.



Table 27. The efficiency and profit margin in total fish feeds

|                |                                             | 25%       | 50%       | 75%       | 100%      |
|----------------|---------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Beef<br>tallow | Total profit<br>(thousand won) <sup>1</sup> | 1,918,480 | 3,836,960 | 5,755,440 | 7,673,920 |
|                | Profit<br>margin (%) <sup>2</sup>           | 10.5      | 21.1      | 31.6      | 42.1      |
| Poultry<br>oil | Total profit<br>(thousand won) <sup>1</sup> | 1,438,860 | 2,877,720 | 4,316,580 | 5,755,440 |
|                | Profit<br>margin (%) <sup>2</sup>           | 7.9       | 15.8      | 23.7      | 31.6      |

<sup>1</sup>Total profit (thousand won) = Total revenue - Total production cost.

<sup>2</sup>Profit margin (%) = Total profit / Total production cost × 100.



#### 제 4 절 고찰

본 연구의 경제적 가치 평가에 있어서 어유를 우지 및 계유로 대체할 경우 성장률에 있어서는 두 종류 동물성유를 어분 함량이 53.9%일때 우지 및 계유로 100% 대체가 가능할 것으로 사료되어졌다. 앞의 결과를 토대로 하여 단순히 사료 가격의 절감을 위하여 실시한다면, 넙치 EP 사료에서의 어유 대체시 우지를 이용할 경우 약 6억원정도 및 계유를 이용시에 4억5천만원 정도의 가격을 절감할 수 있을 것이며, 양어사료 전체를 대상으로 할 경우 계유로 100% 대체할 경우에는 약 57억6천만원 및 우지로 100% 대체할 경우에는 약 76억7천만원을 절감 할 수 있을 것으로 사료되어진다. 또한 이익 마진율에서는 계유를 100% 대체 시 31.6% 및 우지를 100% 대체 시 42.1%로 절감할 수 있을 것이다. 하지만 단순히 성장률을 만을 가지고 어유 대체를 실시할 경우 어체 근육 내 지방산 조성에 있어서 EPA와 DHA 함량이 급격히 감소하며, 치어기에 국한하여 전성장기에 무리가 없다는 것은 전체적인 결론을 내리기에는 무리라 생각된다. 치어기의 경우 전성장기의 어유의 소비량이 약 5%수준으로 나머지 95%의 어유를 위한 결론을 내리기로는 무리라 사료되어진다(Personal communication). 따라서 어체 근육 내 지방산 조성 등의 결과를 토대로 실시할 경우 어유를 100% 대체 시 보다는 우지 및 계유를 25% 수준까지 대체할 경우가 가장 효과적일 것으로 사료되어지며, 이때 이익 금액은 넙치 EP사료를 대상으로 1억 1천만원 ~ 1억5천만원으로, 전체 배합사료를 대상으로 14억원~19억원으로 이익을 볼 수 있을 것으로 조사되었으며, 이익마진율은 7.9~10.5%로 나타났다. 이후 성장기에 있어서의 어유 대체 연구를 토대로 하여 좀 더 구체적인 결론을 도출했으면 한다. 또한 경제적 가치 평가에 있어서 성장기 및 현장 실험을 통하여 좀 더 구체적인 결론을 도출하면 산업적으로 이용가치가 더 높을 것으로 사료되어지며, 지속적인 연구 및 기술개발을 위한 적극적인 정부지원정책이 필요할 것으로 보인다.

## 제 5 장 종합 고찰

### 1. 넙치 사료내 DHA와 EPA 요구량 설정 연구

본 실험에서 broken line 분석과 second order polynomial 분석 결과 치어 기 넙치 사료내 적정 EPA 요구량은 1.10%보다는 높아야 하지만, 1.59% 수준이면 충분할 것이며, DHA 요구량은 1.26%보다는 높아야 하지만, 1.68% 수준이면 충분할 것으로 자어기 및 후기자어기의 방어에 있어서 1.40~2.60%과 전갱이에 있어서의 1.60~2.20% 보다 낮은 값을 나타내었으나, 대구의 1.0%보다는 높게 나타났다(Watanabe et al., 1989; Izquierdo, 1996; Zheng et al., 1996). 또한 *Artemia* 공급 단계인 자어기 넙치에서의 3.0~3.5% 수준보다는 월등히 낮은 값을 나타내었다(Izquierdo et al., 1992; Furuita et al., 1999), Kim and Lee(2004)의 보고에 따른 EPA와 DHA를 포함하는 n-3 HUFA의 요구량인 0.8~1.0% 수준과 강도다리(Lee et al., 2003)에서의 경우 n-3 HUFA를 0.9% 및 터봇에서 0.8%보다 높게 나타났다. 넙치의 경우 해산어 온수성 어종으로 냉수성어종인 강도다리나 터봇보다 EPA와 DHA를 더욱더 요구될 것으로 사료되어진다.

본 실험은 치어기 넙치를 대상으로 하여 실시한바 Takeuchi(1998)의 보고에 따르면 20g의 넙치에서 n-3 HUFA의 요구량이 1.1~1.4%이며, 자어기에 있어서는 DHA를 3% 수준으로 요구한다고 보고하여 넙치가 성장함에 따라 필수지방산 요구량이 감소하는 것으로 사료되어진다.

EPA를 단독으로 사용할 경우보다 EPA와 DHA를 각각 1:1로하여 첨가할 때 단독 사용할 때보다 성장에서 높은 값을 나타내었다. 하지만 Kim & Lee(2004)의 보고와 같이 사료내 EPA 수준이 적정량을 초과할 경우에 있어서는 성장률이 감소하는 유사한 경향을 보였다. 또한, 앞서 실험한 DHA와의

비교에 있어서는 EPA를 첨가한 실험구가 DHA를 첨가한 실험구보다 월등한 성장 효과를 보였다.

본 실험에서 사료 내 EPA와 DHA 수준이 증가함에 따라 어체 내 지방 함량이 증가되는 것으로 확인할 수 있었으며, 강도다리(Lee et al., 2003)와 돔류(Kalogeropoulos et al., 1992)에서의 경우 필수지방산인 n-3 HUFA가 결핍될수록 지방 함량이 감소하는 경향은 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 경향을 보였으며, 또한 돔류에서 n-3 HUFA 함량이 감소할수록 어체 내 지방 함량이 감소한다는 보고와 유사한 경향을 보였다.

본 실험 결과 EPA를 단독으로 한 것보다는 EPA와 DHA를 각각 0.75%씩 첨가하여 공급한 실험구가 EPA를 단독으로 사용한 사료보다 성장률과 사료효율이 높은 것을 알 수 있었다. 본 실험과 유사하게 치어기 청어(Bell et al., 1995)와 돔류(Rodriguez et al., 1997)에서 나타났다. 아마도 DHA가 EPA보다 성장이나 발달과정에 있어서 더욱더 중요한 기능을 수행할 것으로 사료된다 하였다(Mourente et al., 1991; Mourente and Tocher, 1992; Bell et al., 1995). 하지만 사료내 EPA와 DHA를 각각 같은 수준을 첨가하였을 때는 성장이나 사료 효율면에서는 우수하였으나, EPA와 DHA를 각각 수준별로 하였을 경우엔 DHA보다 EPA를 수준별로 첨가한 부분에서 성장률이나 사료효율이 우수했던 점을 감안한다면, 좀더 EPA와 DHA와의 상관관계에 대한 연구가 더욱더 필요할 것으로 사료되어지며, 어유 대체 관련한 연구의 기초 데이터로 활용 될 것으로 사료된다.

따라서 본 연구 결과 치어기 넙치의 최대 성장을 위해서는 EPA를 1.26%보다는 높아야 하지만, 1.68% 수준이면 충분할 것이며, DHA는 1.10%보다는 높아야 하지만, 1.59% 수준이면 충분할 것으로 할 것으로 사료된다.

## 2. 넙치 사료 내 우지와 계유의 어유 대체 가능성 연구

치어기 넙치에 있어서 EPA 요구량은 1.10%보다는 높아야 하지만, 1.59% 수준이면 충분할 것이며, DHA 요구량은 1.26%보다는 높아야 하지만, 1.68% 수준이면 충분할 것으로 조사되었다. 본 실험 사료내 n-3 HUFA(EPA와 DHA)의 수준이 1.17~2.20% 수준으로 EPA와 DHA의 각각의 요구량 수준에 포함되는 수준으로 설계되었다. 본 실험결과 넙치 사료 내 어분을 53.9% 수준을 첨가하여 사용할 경우 성장률에 있어서 어유를 우지로 100%까지 대체가 가능케 함을 알 수 있었다. 이와 상응하게 Sea bass에 있어서 어분을 50% 수준으로 하였을 경우 우지와 계유를 50%까지 대체가 가능하다 하였는데 (Xue et al., 2006), 넙치에서 이보다 우수한 결과를 확인 할 수 있었다. Largemouth bass에서 어분을 30% 수준으로 하였을 경우 계유로 어유를 100% 대체가 가능함을 알 수 있었다(Subhadra et al., 2006). 하지만 Largemouth bass의 경우 담수 어종으로 본 실험어인 넙치와는 필수 지방산이 다른 관계로 넙치보다 낮은 수준의 어분 함량에서도 100% 대체가 가능한 것으로 사료되어진다. 또한 본 실험 결과와 유사하게 무지개 송어와 갈색송어에 있어서도 돈지와 우지를 이용할 경우 어유 대체 가능함을 알 수 있었다 (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000; Turchini et al., 2003). 그 외 무지개송어, 잉어(Takeuchi et al., 1978), 차넬메기(Fracalossi and Lovell, 1994), red sea bream(Glencross et al., 2003), 유럽산 뱀장어(Luzzana et al., 2003)에 있어서 어유와 동물성유인 우지, 돈지 및 계유가 사료내 포함될 경우 성장에 효과를 준다고 보고하였다. 또한 coho salmon(Dosanjh et al., 1984), chinook salmon(Dosanjh et al., 1988), rainbow trout(Greene and Selivonchick, 1990), brown trout(Turchini et al., 2003), brook charr(Guillou et al., 1995) 및 대서양연어(Rosenlund et al., 2001)에 있어서 계유와 유채유로 어유를 부분적 또

는 완전 대체가 가능하다 하였다. 또한 사료내 어분 함량을 46% 수준을 사용할 경우 Sharpsnout seabream에 있어서 어유를 100%로 대체 가능하였으며(Piedecausa et al., 2007), 또한 turbo에 있어서는 어분을 50% 수준으로 하여 대두유와 아마인유를 3개월 공급하고 다시 어유로 전환하여 공급하였을 경우 어유와 약간의 성장차이만 보였다 하였으며(Regost et al., 2003), Murray cod에 어분 함량을 10% 수준으로 하여 어유를 대체할 경우에는 아마인유로 100%로 대체가 가능하였다(Francis et al., 2006). 그 외 유채유(canola oil)를 어유 대체원으로 red sea bream에 있어서 어분을 50%수준으로 대체할 경우 어유를 100% 대체가 가능하였다(Huang et al., 2007). 하지만 Sea bass(Xue et al., 2006)에 있어서는 어분을 50%수준으로하여 돈지, 우지, 가금유, 대두유 및 옥수수유를 이용하여 어유를 대체하였으나 어유를 50%수준까지만 대체가 가능하였다. 이처럼 해산어에 있어서 어분을 사료내 첨가하지 않고 어유를 대체 하는 것은 실로 불가능 한 일이라 할수 있다. 어분에 포함되어 있는 지방성분에 해산어 필수 지방산인 EPA와 DHA가 다량 함유되어 있으므로 어분 함량을 조절하여 각 어종에 필수 지방산을 함량을 맞춰 준다면 어분만을 가지고 어유를 다른 동물성유로 대체가 가능할 것이다. 특히 계유의 경우에 있어서는 수입에 의존하지 않고 자국에서 생산하여 공급 함으로써 어유에 비하여 가격이 저렴한 점을 감안한다면 여러 가지 이점을 가지고 있다할 수 있다. 이렇듯 어중에 있어서 필수 지방산 요구량 특히, 해산어의 경우 EPA와 DHA의 요구량이 규명되어져 있다면 어유 대체에 관련한 연구는 큰 어려움이 없을 것으로 사료된다. 하지만 어유를 동물성유로 대체할 경우 전어체나 간에서의 n-3 HUFA인 EPA와 DHA 수준이 낮게 되는 단점을 보인다.

따라서 본 연구의 결과를 토대로 53.9% 이상의 어분을 사용할 경우 성장률에 있어서 동물성유인 우지 및 계유를 양어사료의 어유 대체원으로 100%

까지 사용이 가능할 것으로 사료되어지나, 근육 내 EPA와 DHA 함량이 계유를 수준별로 증가시킬수록 감소하는 부분을 감안한다면, 25%까지는 대체하여도 성장 및 근육 내 지방산 조성에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 사료된다.

### 3. 어유 대체에 따른 경제적 가치 평가

본 연구의 경제적 가치 평가에 있어서 어유를 우지 및 계유로 대체할 경우 성장률에 있어서는 두 종류 동물성유를 어분 함량이 53.9%일때 우지 및 계유로 100% 대체가 가능할 것으로 사료되어졌다. 앞의 결과를 토대로 하여 단순히 사료 가격의 절감을 위하여 실시한다면 어유를 계유로 100% 대체할 경우에는 약 57억6천만원 및 우지로 100% 대체할 경우에는 약 76억7천만원을 절약 할 수 있을 것으로 사료되어진다. 또한 이익 마진율에서는 계유를 100% 대체시 31.6% 및 우지를 100% 대체 시 42.1%로 절약할 수 있을 것이다.

하지만 단순히 성장률을 만을 가지고 어유 대체를 실시할 경우 어체 근육 내 지방산 조성에 있어서 EPA와 DHA 함량이 급격히 감소하여, 어유를 100% 대체 시 보다는 우지 및 계유를 25% 수준까지 대체할 경우가 가장 효과적일 것으로 사료되어지며, 이때 낚치 EP사료를 대상으로 1억 1천만원 ~ 1억5천만원으로, 전체 배합사료를 대상으로 14억원~19억원으로 이익을 볼 수 있을 것으로 조사되었으며, 이익마진율은 7.9~10.5% 으로 나타났다. 이후 성장기에 있어서의 어유 대체 연구를 토대로 하여 좀 더 구체적인 결론을 도출했으면 한다. 또한 경제적 가치 평가에 있어서 성장기 및 현장 실험을 통하여 좀 더 구체적인 결론을 도출하면 산업적으로 이용가치가 더 높을 것으로 사료되어진다.

이상의 연구를 통하여 어유를 우지 및 계유로 대체시에 따른 경제적 이익은 발생하였으며, 현재 넙치에서의 배합사료 이용률이 낮은 점을 고려하여 향후 생사료 사용의 규제 및 배합사료의 사용량이 증가된다면 현재 이상의 경제적 이익이 발생될 것으로 사료된다. 또한, 본 연구는 넙치에 국한하여 실시하였지만, 향후 타 어종을 대상으로 어유 대체를 실시할 경우 본 경제적 이익보다는 더욱더 많은 경제적 가치를 가져다 줄 것으로 사료된다.



## 제 6 장 결 론

본 연구는 해산어 주요 양식종인 넙치에 있어서 필수지방산인 EPA와 DHA의 각각의 요구량을 설정 기초로 하고 육상 동물성유인 우지와 계유를 어유 대체원으로 써 대체 가능성을 확인하여, 우지 및 계유로 어유 대체 시에 따른 경제적 가치 평가를 실시하였다.

넙치의 필수 지방산인 EPA와 DHA의 각각의 요구량을 확인하기 위하여 실험사료를 각각 수준별로 0%, 0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.25%, 1.5% 및 2.0%로 하여 치어기 넙치를 대상으로 하여 반순환여과 사육시스템에서 8주간 사육 실험을 실시하였다. 각각의 필수 지방산인 각각의 EPA와 DHA의 요구량에 있어서 broken line analysis 및 second order polynomial analysis 결과 EPA의 경우 1.10%이상, 1.59%미만 요구되어지며, DHA의 경우 1.26% 이상, 1.68% 미만 요구되어진다. 또한 EPA와 DHA를 각각 같은 수준 0.5%, 0.75% 및 2.0%로 첨가할 경우 단독으로 사용되는 EPA와 DHA보다 우수한 성장 효과를 확인할 수 있었다.

어유 대체원으로써 육상 동물성유인 우지와 계유를 수준별 대체하여 대체 가능성을 확인하고자 하였다. 어유를 우지와 계유를 이용하여 0, 25%, 50%, 75% 및 100%로 하여 치어기 넙치를 대상으로 하여 반순환여과 사육 시스템에서 8주간 사육 실험을 실시하였다. 실험사료 내 필수 지방산인 EPA와 DHA의 함량은 어유가 100%일때 2.20%였으며, 어유를 우지 및 계유로 100% 대체하였을 경우 1.17% 수준까지 감소하였다. 어유를 우지 및 계유로 수준별로 대체 한 경우 대조구와 전 실험구간에 유의한 차이 없으므로 인하여 어유를 우지 및 계유로 100% 대체가 가능할 것으로 사료되어지나 어체 근육 내 지방산 조성 등을 고려한다면 단순히 100% 대체보다는 25%수준에서 어유를 대체하는 것이 성장 및 근육 내 지방산 조성에 영향을 끼치지 않을 것으로

사료된다.

어유를 계유로 100% 대체할 경우에는 앞의 결과를 토대로 하여 단순히 사료 가격의 절감을 위하여 실시한다면, 넙치 EP 사료에서의 어유 대체시 우지를 이용할 경우 약 6억원정도 및 계유를 이용시에 4억5천만원 정도의 가격을 절약할 수 있을 것이며, 양어사료 전체를 대상으로 할 경우 계유로 약 57억6천만원 및 우지로 100% 대체할 경우에는 약 76억7천만원을 절약 할 수 있을 것으로 사료되어지며, 또한 이익 마진율에서는 계유를 100% 대체 시 31.6% 및 우지를 100% 대체 시 42.1%로 절약할 수 있을 것이다. 하지만 단순히 성장률을 만을 가지고 어유 대체를 실시할 경우 어체 근육 내 지방산 조성에 있어서 EPA와 DHA 함량이 급격히 감소하여 어체 근육 내 지방산 조성 등의 결과를 토대로 실시할 경우 어유를 100% 대체 시 보다는 우지 및 계유를 25% 수준까지 대체할 경우가 가장 효과적일 것으로 사료되어지며, 이때 이익 금액은 넙치 EP사료를 대상으로 1억 1천만원 ~ 1억5천만원으로, 전체 배합사료를 대상으로 14억원~19억원으로 이익을 볼 수 있을 것으로 조사되었으며, 이익마진율은 7.9~10.5% 으로 나타났다.

따라서, 본 연구를 통해 필수 지방산인 EPA와 DHA의 각각의 요구량을 확인 고, 어유를 동물성유인 우지와 계유를 이용하여 대체할 경우 성장률에 있어서 어유를 100%까지 대체가 가능할 것으로 사료되어지나, 전어체 근육 및 간의 지방산 조성 등의 결과를 고려한다면 어유를 25% 대체하는 것이 가장 효과적일 것으로 사료된다. 또한 본 실험을 통하여 어유 대체를 통한 양어사료의 가격을 낮출 수 있을 것이며, 향후 넙치 양식 산업을 지속적으로 발전시키고 나아가 수출증대 및 수입대체 효과를 통해 국가 경쟁력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

## 제 7 장 요약

본 연구는 넙치의 필수 지방산인 EPA와 DHA의 각각의 요구량을 설정하고 어유 대체를 위하여 우지 및 계유로 어유 대체 가능성을 확인하였으며, 어유 대체에 따른 경제적 가치 평가를 실시하였다.

### 1. DHA 요구량 평가

본 연구는 치어기 넙치에 있어서 사료내 적정 DHA 요구량을 규명하는데 그 목적이 있다. 실험사료는 단백질원으로는 탈지어분(deffatted fish meal) 및 카제인(casein)을 사용하였으며, 지질원으로 코코넛오일(coconut oil)을 그리고 탄수화물원으로 덱스트린(dextrin) 및 밀가루(wheat meal)을 사용하였다. 넙치 치어의 DHA 요구량을 평가하기 위해 DHA 공급원으로 DHA(docosahexaenoic acid) 89%를 사용하여 실험사료내 총 DHA 수준을 0%, 0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.25%, 1.5% 그리고 2.0%가 되게 디자인 하였다. 예비사육 후, 평균무게  $3.51 \pm 0.12\text{g}$  (mean $\pm$ SD)인 넙치 치어를 40ℓ 사각수조에 각각 15마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하였다.

8주 동안 사육한 넙치의 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 DHA를 1.25% 및 2.0%를 첨가하여 공급한 실험구가 대조구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타냈다( $P < 0.05$ ). 또한 DHA 0.5%를 첨가한 실험구가 DHA 1.0%, 1.25%, 1.5% 및 2.0%에 있어서 유의한 차이가 있었다( $P < 0.05$ ). 사료효율(FE)과 단백질전환효율(PER)에 있어서 대조구가 DHA를 1.25%, 1.5% 및 2.0%를 첨가하여 공급한 실험구에 비하여 유의하게 낮은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ ). 하지만 DHA를 0.5% 첨가하여 공급한 실험구가 DHA 1.0%, 1.25%, 1.5% 및 2.0%에 있어서 유의한 차이가 있었다( $P < 0.05$ ). Broken line model 분석을 통한 최대 성장을 위한 DHA 요구량은 1.26%로 나타났으며, Second

order polynomial analysis 분석을 통한 최대 성장을 위한 EPA 요구량은 1.68%로 나타났다.

따라서 본 연구의 결과를 통하여, DHA의 적정 요구량은 1.26%보다는 높아야 하지만, 1.68% 수준이면 충분할 것으로 사료된다.

## 2. EPA 요구량 평가

본 연구는 치어기 넙치에 있어서 사료내 적정 EPA 요구량을 규명하는데 그 목적이 있다. 실험사료는 단백질원으로는 탈지어분(deffatted fish meal) 및 카제인(casein)을 사용하였으며, 지질원으로 코코넛오일(coconut oil)을 그리고 탄수화물원으로 덱스트린(dextrin) 및 밀가루(wheat meal)을 사용하였다. 넙치 치어의 EPA 요구량을 평가하기 위해 EPA 공급원으로 EPA(eicosapentaenoic acid) 95%를 사용하여 실험사료내 총 EPA 수준을 0%, 0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.25%, 1.5% 그리고 2.0%가 되게 디자인 하였다. 예비사육 후, 평균무게  $3.50 \pm 0.10\text{g}$  (mean $\pm$ SD)인 넙치 치어를 40ℓ 사각수조에 각각 15마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하다.

8주 동안 사육한 넙치의 성장 결과 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 대조구가 다른 실험구간에 있어서 유의하게 낮은 값을 나타내었으며 ( $P < 0.05$ ), 또한 EPA+DHA를 각각 0.5%, 0.75% 및 1.0%를 첨가하여 공급한 실험구보다 유하게 낮은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ ). 사료내 EPA 함량이 증가할 수록 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. EPA+DHA를 각각 1.0%씩 첨가하여 공급한 실험구가 다른 실험구에 비하여 가장 높은 값을 나타내었다. 또한 EPA가 1.25% 수준을 넘어설때 부터 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)이 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 사료효율(FE)과 단백질전환효율(PER)에 있어서 또한 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)과 유사한 경향을 보였으며, 대조구가 EPA 0.5%를 첨가하여 공급한 실험구

를 제외한 구에 있어서 유의하게 낮은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). EPA와 DHA를 동일한 수준으로 첨가한 실험구간에 있어서는 EPA와 DHA를 각각 0.75%씩 첨가한 실험구가 가장 높은 값을 나타내었다. Broken line model 분석을 통한 최대 성장을 위한 EPA 요구량은 1.10%로 나타났으며, Second order polynomial analysis 분석을 통한 최대 성장을 위한 EPA 요구량은 1.59%로 나타났다.

따라서 본 연구의 결과를 통하여, EPA의 적정 요구량은 1.10% 보다는 높아야 하지만, 1.59% 수준이면 충분할 것으로 사료된다.

### 3. 어유 대체원으로써 우지의 수준별 대체 평가

본 연구는 치어기 넙치에 있어서 사료내 어유 대체원으로써 우지의 수준별 대체 평가를 규명하는데 그 목적이 있다. 실험사료는 단백질원으로는 어분(fish meal), 콘글루텐밀(corn gluten meal), 대두박(soybean meal), 새우밀(shrimp meal)을 사용하였으며, 지질원으로 반정제 연어유(salmon crude oil)와 우지(beef tallow)를 그리고 탄수화물원으로 밀가루(wheat meal)를 사용하였다. 실험사료는 어유를 100%로한 대조구 사료를 대상으로 어유 75%+우지 25%, 어유 50%+우지 50%, 어유 25%+우지 75%, 어유 25%+우지 100%, 어유 17%+우지 63%+DHA 20% 및 우지 75.9%+DHA 24.1%로 총 7가지의 사료를 조단백 53.3%, 조지방 11.1% 및 총에너지는 16.2 kJ/g으로 제작하여 평가하였다.

8주 동안 사육한 넙치의 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 어유를 우지 75.9%+DHA 24.1%를 첨가하여 공급한 실험구가 대조구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 어유를 우지 75.9%+DHA 24.1%를 첨가하여 공급한 실험구가 어유 대체 25%, 50%, 75% 및 100% 대체구에 있어서 유의한 차이가 있었다( $P<0.05$ ). 사료효율(FE)과 단백질전환효율(PER)에 있어서 어유를 수준별로 대체한 실험구간에 있어서는 유의한 차이가 없었으나,

우지 75.9%+DHA 24.1%구에 있어서는 대조구에 비하여 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ).

따라서 본 연구의 결과를 토대로 53.9% 이상의 어분을 사용할 경우 성장률에 있어서 동물성유인 우지를 양어사료의 어유 대체원으로 100%까지 사용이 가능할 것으로 사료되어지나, 근육 내 EPA와 DHA 함량이 계유를 수준별로 증가시킬수록 감소하는 부분을 감안한다면, 25%까지는 대체하여도 성장 및 근육내 지방산 조성에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 사료 된다.

#### 4. 어유 대체원으로써 계유의 수준별 대체 평가

본 연구는 치어기 넙치에 있어서 사료내 어유 대체원으로써 계유의 수준별 대체 평가를 규명하는데 그 목적이 있다. 실험사료는 단백질원으로는 어분(fish meal), 콘글루텐밀(corn gluten meal), 대두박(soybean meal), 새우밀(shrimp meal)을 사용하였으며, 지질원으로 반정제 연어유(salmon crude oil)와 계유(poultry oil)를 그리고 탄수화물원으로 밀가루(wheat meal)를 사용하였다. 실험사료는 어유를 100%로한 대조구 사료를 대상으로 어유 75%+계유 25%, 어유 50%+계유 50%, 어유 25%+계유 75%, 어유 25%+계유 100%, 어유 17%+계유 68.6%+DHA 14.4% 및 계유 82.8%+DHA 17.2%로 총 7가지의 사료를 조단백 53.3%, 조지방 11.1% 및 총에너지는 16.2 kJ/g으로 제작하여 평가하였다.

8주 동안 사육한 넙치의 증체률(WG)과 일간성장률(SGR)에 있어서 어유를 계유로 50%로 대체한 실험구가 계유를 75% 및 100%로 보다 유의하게 낮은 값을 나타내었다( $P<0.05$ ). 사료효율(FE)에 있어서 106~115 이었으며, 단백질전환효율(PER)에 있어서 3.36~3.61로 전 실험구간에 유의한 차이가 없었다.

따라서 본 연구의 결과를 토대로 53.9% 이상의 어분을 사용할 경우 성장률에 있어서 동물성유인 계유를 양어사료의 어유 대체원으로 100%까지 사용이 가능할 것으로 사료되어지나, 근육 내 EPA와 DHA 함량이 계유를 수준

별로 증가시킬수록 감소하는 부분을 감안한다면, 25%까지는 대체하여도 성장 및 근육내 지방산 조성에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 사료 된다.

## 5. 어유 대체에 따른 경제적 가치 평가

본 연구의 경제적 가치 평가에 있어서 어유를 우지 및 계유로 대체할 경우 성장률에 있어서는 두 종류 동물성유를 어분 함량이 53.9%일때 우지 및 계유로 100% 대체가 가능할 것으로 사료되어졌다. 넙치 EP 사료에서의 어유 대체 시 우지를 이용할 경우 약 6억원정도 및 계유를 이용시에 4억5천만원 정도의 가격을 절약할 수 있을 것이며, 양어사료 전체를 대상으로 할 경우 계유로 약 57억6천만원 및 우지로 100% 약 76억7천만원을 절약 할 수 있을 것으로 사료되어진다. 또한 이익 마진율에서는 계유를 100% 대체시 31.6% 및 우지를 100% 대체 시 42.1%로 절약할 수 있을 것이다.

하지만 어유 대체의 경우 근육내 지방산 조성 또한 중요한 부분으로 고려되어 단순히 성장률을 만을 가지고 어유 대체를 실시할 경우 어체 근육 내 지방산 조성에 있어서 EPA와 DHA 함량이 급격히 감소하여, 어유를 100% 대체 시 보다는 우지 및 계유를 25% 수준까지 대체할 경우에 어체 내 조직에 영향을 끼치지 않을 것으로 사료된다.

따라서, 성장률에 따른 어유를 우지 및 계유로 대체시 100% 대체가 가능하였으며, 넙치용 배합사료 기준 4억5천만원~6억원, 양어사료 전체를 대상으로 약 57억6천만원~ 76억7천만원을 절약할 수 있을 것이며, 이때 이익 마진율은 31.6~42.1%로 조사되었다.

## 감 사 의 글

참으로 부족한 저에게 과학적이고 논리적인 사고로써 학문의 길이 무엇인지를 깨우쳐 주신 배승철 교수님의 노고와 은혜에 깊이 고개 숙여 깊이 감사드리며, 아울러 바쁘신 와중에도 초라한 논문을 맡아서 세심한 조언으로 논문을 다듬어 주시고 사랑과 조언을 아끼지 않으셨던 이정열 교수님, 김창훈 교수님, 류동기 교수님, 유진형 박사님께 진심으로 감사드립니다.

학부 및 대학원 생활 과정에서 강의 및 세미나를 통해 양식이란 학문을 심도 깊게 일깨워 주신 김용호 교수님, 손철현 교수님, 조재운 교수님, 허성범 교수님, 장영진 교수님, 김종연 교수님, 이종화 교수님, 김동수 교수님, 남윤권 교수님, 김종명 교수님께 감사드립니다.

대학원 생활에 있어 힘들고 어려울 때 따뜻한 사랑으로 아껴주셨던 박성쾌 교수님, 김운 박사님, 강용진 박사님, 윤성종 박사님, 박홍식 상무님, 이경준 교수님, 허준욱 박사님, 홍성주 선생님, 한경민 박사님, 김재원 박사님, 김강웅 박사님, 임한규 박사님, 한용옥 상무님, 박병연 선배님, 왕소길 박사님, 박경일 박사님, 임재현 박사님, 최세민 박사님, 박건준 박사님, 민병화 박사님, 조현경 선배님, 한명석 선배님, 김영수에게도 감사를 드립니다.

본 실험을 위해 실험어를 제공 해 주신 원양수산 정채길 사장님, 본 실험을 위해 여러모로 도와준 사료영양학 실험실 및 사료영양연구소 이승형, 최희정, Okorie, 이준호, 박건현, Mahmoud, 허셋별, 이상재, 조유경, 백희정 실험실원에게 감사를 드립니다. 또한, 현재는 실험실에 없지만 실험실 생활에 도움을 주셨던 구자완 선배님, 김준형 선배님, 이정기 선배님, 한정수 선배님, 김기훈 선배님, 강무철, 김달영, 박성준, 우인구, 공석표, 이세광, 윤용현, 최수희, 민문경, 하가영에게 감사를 드립니다. 이번에 같이 학위를 준비한 임성율 선배님과 친구 준영이의 학위 취득을 진심으로 축하하며 앞날에 무궁한 영광이 깃들기를 기원하며, 처음 부산에서 동거 동락한 광열이와 민환이에게도 감사를 드립니다.

항상 먼 곳에서 학위 한다고 많은 조언과 사랑을 배풀어 준 군산대학교

자원생태학 실험실 배주승 선배님, 류수현 선배님, 이대한 선배님, 이성원 선배님, 김문진 선배님, 김윤오 선배님, 김재석 선배님, 김동완 선배님, 이동훈, 최종덕, 윤명숙, 김창수, 안정은 등 실험실 선후배님께 감사를 드립니다. 또한, 군산대 배승수 사장님, 김선규에게도 감사를 드립니다.

항상 어렵고 힘들 때 버팀목이 되어준 친구 천희, 형복, 원일, 영택, 봉진, 준호, 원희, 강원, 주완, 종대, 민기, 현경, 기중, 상봉, 영호에게 고마움을 전합니다. 우리가정에 큰 힘이 되어준 연우회 현수행님, 동완행님, 치효행님, 진이행님, 정곤행님, 종찬, 경원씨, 태용, 상우 회원님들께 감사를 표하며, 항상 즐거움을 가져다준 경옥씨와 두경이에게 감사를 드립니다.

제가 어린 시절부터 늘 사랑과 관심으로 내 인생의 든든한 후원자가 되어 주신 아버지와 어머니의 희생과 사랑이 아니었으면 제가 오늘 이 자리에 없었을지도 모릅니다. 아버지와 어머님께 고개 숙여 감사드리며, 언제나 정신적으로 든든한 후견인이 되어준 형과 형수님, 동생 미영이, 병엽이 내외, 사랑스런 조카 민우와 정우에도 고마움을 전합니다.

저에게 가장 소중한 사람을 만나게 해주신 장인과 장모님께는 감사드리며, 저에게 하느님의 사랑을 가르쳐 주신 할머니님, 진주 고모부님, 고모님, 대전 고모부님, 고모님, 작은아버님, 작은어머님, 처형 내외분과 조카, 처남, 지금은 멀리 떨어져 있는 처제에게도 고마움을 전합니다.

학업에 전념하도록 묵묵히 내조해 준 아내 육소정님과 언제나 내 꿈의 언저리에서 맴돌며 눈에 넣어도 아프지 않을, 사랑스런 내 인생의 보배 하진이에게 이 논문을 바치고자 합니다.

끝으로, 제게 있어 학위과정의 길은 학문과 인격수양의 과정이라 생각합니다. 이제 비로소 모든 과정을 마무리하고 논문의 마지막 마무리를 글로 남기려 하니 베풀지 못하고 받기만 했던 삶을 반성하며, 저를 도와주신 분이 이렇게도 많았음에도 불구하고 일일이 찾아뵙고 감사 인사를 드리지 못한 점 이 글을 통하여 용서를 구합니다.

2009년 1월 부산 사료영양학 실험실에서

## 참 고 문 헌

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2000. Cunniff, P. (Ed.), Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA.
- Bai, S.C., X.J. Wang and K.W. Kim, 1999. Present Status and Future Prospects of World Aquaculture: The Korean perspective "Proceedings of International Conference on Impacts of Population and Markets on the Sustainability of Ocean and Coastal Resources: The Perspective of Developing and Transition Economics of the North Pacific, Seattle, June 3-4, 155-177 pp.
- Bell, J.G., J. McEvoy, D.R. Tocher, F. McGhee, P.J. Campbell and J.R. Sargent, 2001. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. J. Nutr., 131, 1535-15.
- Bell, M. V., R. J. Henderson, B.J.S. Pirie and J. R. Sargent, 1985. Effects of dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies on mortality, growth and gill structure in the turbot, *Scophthalmus maximus*. Journal of Fish biology, 26, 181-191.
- Broughton, K. S., J. Whelan, I. Hardardottir and J. E. Kinsella, 1991. Effect of increasing- the dietary (n-3) to (n-6) polyunsaturated fatty acid ratio on murine liver and peritoneal cell fatty acids and eicosanoid formation. Journal of Nutrition, 121, 155-164.
- Brown, B.A., 1980. Routine hematology procedures. In: Brown, B.A. (Ed.), Hematology: Principles and Procedures. Lea and Febiger, Philadelphia, 71- 112 pp.

- Brown, L.R., 1997. 폴하우스: 인구 · 식량 · 환경(전운성감수/지기한외 옮김), 따님 환경신서 15, 도서출판따님.
- Castell, J. D., R. O. Shinnhuber, J. H. Wales and D. J. Lee, 1972. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): Growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms. *Journal of Nutrition* 102, 77-86.
- Choi, S. M., 2005. Development of the low pollution diets for growing olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Ph.D. thesis. Pukyong National Univ., Busan, Korea.
- Choi, S.M., K.M. Han, X.J. Wang, S.H. Lee and S.C. Bai, 2004. Quality evaluation of domestic and foreign extruded pellets and moist pellet based on biochemical analyses for juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Aquaculture*, 17, 144-150.
- Deshimaru, O., K. Kuroki and Y. Yone, 1982. Suitable levels of lipids and ursodesoxycholic acid in diet for yellowtail. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 48, 1265-1270.
- FAO, 2008. FISHSTAT Plus statistic database.
- Francis, D.S., M. Giovanni, P.L. Turchini, Jones and S.S.D. Silva, 2006. Effects of dietary oil source on growth and fillet fatty acid composition of Murray cod, *Maccullochella peelii peelii*. *Aquaculture* 253, 547-556.
- FSAI, 2002. Investigation in PCDDs/PCDFs and Several PCBs in Fish Samples (salmon and trout). Food Safety Authority of Ireland.
- Furuuta, H., K. Konishi and T. Takeuchi, 1999. Effect of different levels of eicosapentanoic and docosahexaenoic acids in *Artemia* nauplii on growth, survival and salinity tolerance of larvae of the Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 161, 269-279.

- Hebb, C.D., J.D. Castell, D.M. Anderson and J. Batt, 2003. Growth and feed conversion of juvenile winter flounder, *Pleuronectes americanus*) in relation to different protein to lipid levels in isocaloric diets. *Aquaculture*, 221: 439-449.
- Huang, S.S.Y., A.N. Oo, D.A. Higgs, C.J. Brauner and S. Satoh, 2007. Effect of dietary canola oil level on the growth performance and fatty acid composition of juvenile red sea bream, *Pagrus major*. *Aquaculture*, 271, 420-431.
- Izquierdo, M.S., 1996. Essential fatty acids requirements of cultured marine fish larvae. *Aquac. Nutr.*, 4, 183-191.
- Kaley, G., T. H. Hintze, M. Panzenbeck and E. J. Messian, 1985. Role of prostaglandins in microcirculatory function. In: G.G.N. Serner, J. C. McGiff, R. Paoletti and G.V.R. Born(Eds). *Advances in prostaglandin, thromboxane, and leukotriene research*, Vol. 13. Raven Press, New York, pp. 27-35.
- Kanazawa, A., 1993. Essential phospholipids of fish and crustaceans. In: Kaushik, S.J. and Luquet. P. (Eds.) *Fish Nutrition in Practice*. INRA, Paris, 519-530 pp.
- Kaushik, S.J., 2004. Fish oil replacement in aqua feeds. *Aqua feeds: Formulation and Beyond*, 1, 3-6.
- Kim, K. D. and S.M. Lee, 2004. Requirement of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 229, 315-323.
- Kim, K.D., S.M Lee, H.G. Park, S.C. Bai and Y.H. Lee, 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. of the World Aquaculture Soc.*, 33, 432-440.
- Lundebye, A.K., M.H.G. Berntssen, Ø. Lie, G. Ritchie, P. Isosaari, H.

- Kiviranta and T. Vartiainen, 2004. Dietary uptake of dioxins (PCDD/PCDFs) and dioxin-like PCBs in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquac. Nutr.*, 10, 199-207.
- National Research Council, 1993. Nutrient requirement of fish. National Academy Press, Washington, D. C., USA.
- Piedeacausa, M.A., M.J. Mazon, B. Garcia Garcia and M.D. Hernandez, 2007. Effects of total replacement of fishoil by vegetable oils in the diets of sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*). *Aquaculture*, 263, 211-219.
- Regost C., J. Arzel, M. Cardinal, J. Robin, M. Laroche and S.J. Kaushik, 2001. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot, *Psetta maxima*. *Aquaculture*, 193, 291-309.
- Rogost, C., J. Arzel, J. Robin, G. Rosenlund and S.J. Kaushik, 2003. Totalreplacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*) 1. Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism. *Aquaculture*, 217, 465-482.
- Rosenlund, G., A. Obach, M.G. Sandberg, H. Standal and K. Tviet, 2001. Effect of alternative lipid sources on long-term growth performance and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquac. Res.*, 32, 323-328.
- Sargent, J.R., L.A. McEvoy and J.G. Bell, 1997. Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture*, 155, 117-127.
- Sato, T., 1998. Development of formulated feeds for juvenile Japanese flounder. Ph. D thesis. Tokyo University of Fisheries, Tokyo, Japan.
- Seiliez, I., S. Panserat, S. Kaushik and P. Bergot, 2003. Cloning and

- nutritional regulation of a [ $\Delta$ ] 6-desaturase-like enzyme in the marine teleost gilthead seabream (*Sparus aurata*). Comp. Biochem. Physiol., 135B, 449-460.
- Stubbs, C. D. and A. D. Smith, 1984. The modification of mammalian membrane polyunsaturated fatty acid composition in relation to membrane fluidity and function. Biochem. Biophys. Acta., 779, 89-137.
- Subhadra, B., R. Lochmann, S. Rawles and R. Shen, 2006. Effect of dietary source in the growth, tissue composition and hematological parameters of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Aquaculture, 255, 210-222.
- Swanson, J. E., B. R. Lokesh and J. E. Kinsella, 1989.  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$  ATPase of mouse cardiac sarcoplasmic reticulum is affected by membrane n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acid content. Journal of Nutrition, 119, 364-372.
- Takeuchi, T., 1997. Essential fatty acids requirements of aquatic animals with emphasis on fish larvae and fingerlings. Review in Fisheries Science, 5, 1-25.
- Takeuchi, T., 1998. Nutritional requirements of larval and juvenile Japanese flounder. In : Text Book of Basic and Theoretical Course in Sea farming - XII. Fisheries Agency and Japan Sea Farming Association, Tokyo, pp. 1-23.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, T. Arakawa, K. Imaizumi, S. Sekiya and C. Kitajima, 1989. Requirement of juvenile striped jack, *Longirostris delicatissimus*, for n-3 highly unsaturated fatty acid. Nippon Suisan Gakkaishi, 55, 1111-1117.
- Xue, M., L. Lin, W. Xiufeng, R. Zelin, G. Peng, Y. Yu and P. Gary, 2006. Effects of six alternative lipid sources on growth and tissue fatty

- acid composition in Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*).  
Aquaculture, 260, 206-214.
- Yu, T. C., R.O. Sinhuber and G. Putnam, 1977. Effect of dietary lipids on fatty acid composition of rainbow trout. Lipids, 12, 495-499.
- Zeitoun I. H., D. E. Ullrey, D. E. Magae, J. L. Gill, and W. G. Bergen. 1976. Quantifying nutrient requirements of fish. Journal of the Fisheries Research Board of Canada., 33, 167-172.
- Zheng, F., T. Takeuchi, K. Yosheda, M. Kobayashi, J. Hirokawa and T. Watanabe, 1996. Requirement of larval cod for arachidonic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid using by their enriched *Artemia* nauplii. Nippon Suisan Gakkaishi., 62, 669-676.

