

# 뱀장어(*Anguilla Japonica*) 사료 내 탈지 동애등에 분말의 급이 효과

박광식\* · 김종주\*

농업회사법인다음산업(주)(\*연구소장 · \*대표)

## Effect of Dietary Supplementation of Defatted Black Soldier Fly Powder for Eel *Anguilla Japonica*

Gwang-Sic PARK<sup>†</sup> · Jong-Ju KIM<sup>\*</sup>

Daum Agricultural Industry (\*research director · \*president)

### Abstract

The purpose of this research is to evaluate the effect of dietary supplementation of defatted black soldier fly(DBSF) powder on growth performance and survival rate under a stress test of the young eel *Anguilla japonica*. The diets were added with graded levels of DBSF powder by 0, 5 and 10% (designated as Control, DBSF5 and DBSF10 respectively). triplicate group of young eel were hand-fed with one of the diets one times daily for 32 days. The survival of young eel exposed to anaerobic in a stress test was significantly higher in eel group fed DBSF5 and DBSF10 than that of eel fed the control diet. Growth performance of the eel were higher with the dietary Control than DBSF5 and DBSF10. Results indicated that dietary DBSF powder could be used as a functional supplement for improvements in stress resistance in young eel. The suggested dietary inclusion level of DBSF is approximately 10% for the eel in a stress environment. But these results indicate that DBSF regardless of lipid levels, could be poor protein sources for the enhancement of growth performance of the young eel *Anguilla japonica*.

**Key words** : Black soldier Fly, Eel, Feeds

### I. 서론

뱀장어는 국내에서 상업적으로 가장 많이 생산되는 담수 어종으로 2021년 15,700톤이 생산되었다(Ministry of oceans and fisheries 2022). 뱀장어는 다른 어종에 비해서 단백질, 지방, 무기질, 비타민 등이 풍부하게 함유되어 있는 건강 기호 식품으로 뱀장어 소비가 꾸준히 증가하고 있다.

이에 따라 뱀장어의 생산량 증대를 위해 고밀

도 순환 여과식 양식법에 의해 대량으로 양식되고 있다. 또한 국내의 뱀장어 사료는 분말반죽사료가 양식현장에서 전적으로 사용되는 실정이며 뱀장어 사료의 단백질원은 어분에 전적으로 의존하고 있다. 따라서 어분을 대체하는 단백질원의 개발은 뱀장어 양식의 경제성과 효율을 개선하는 방법으로 주목되고 있다.

양식사료 내 어분을 대체하는 목적으로 최근 곤충박(insect meal)을 이용하는 연구가 수행되고 있

<sup>†</sup> Corresponding author : 055-883-0406, du8848@naver.com

\* 이 논문은 23년도 국립농업과학원 과제번호 RS-2021-RD009946 동애등에의 동물사료 최적화 접목기술 개발 과제의 연구비에 의해 지원되었음

다. 곤충박은 단백질, 비타민, 미네랄 같은 필수 영양소를 풍부하게 함유하고 있어(Motte et al., 2019) 어분을 대체할 수 있는 우수한 단백질원으로 보고되고 있다.

동애등에(*Hermetia illucens*)의 유충은 타 곤충류에 비교하여 상업적으로 대량생산에 유리한 조건을 가지고 있다. 성충 한마리가 약 1000개의 알을 낳으며 유충 기간은 15~20일 정도로 유충은 성장 기간이 짧다. 또한 사료를 확보하기에 용의하여 유기성 폐기물의 처리에도 활용성이 높아(Makker et al., 2014; Van Huis and Oonincx, 2017) 산업적으로 경제적인 어분 대체 원료로 보고(kim et al., 2019)되고 있다.

탈지 동애등에는 풍부한 단백질(3-59%)과 지질(17-49%)을 함유하고 있으며 아미노산 조성은 어분과 유사하다(Barroso et al., 2013; Shin et al., 2020). 따라서 동애등에는 양식 사료 내 사료원료로서의 영양적 가치를 규명하기 위한 주요한 소재로 연구되어 왔다 잉어(*Cyprinus carpio*) (Li et al., 2016), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*) (Renna et al., 2017; Dumas et al., 2018), 대서양연어(*Salmo salar*) (Belghit et al., 2018), 방어(*Seriola quinqueradiata*) (Ido et al., 2021). 흰다리새우(*Litopenaeus vannamei*) (Shin et al., 2021).

동애등에의 영양성분 중 주요한 지방산 중 하나인 라우릭산(Lauric acid)은 항균활성 물질로 전환되어 면역기능에 도움을 주는 것으로 보고되어(Schlievert et al., 1992; Dayrit 2015) 다양한 작용을 통해 직 간접적으로 어류의 성장, 면역증진에 도움을 주는 것으로 알려져 있다.

그러나 탈지 동애등에의 외골격에 존재하는 키틴(chitin)은 어류의 성장 및 단백질 이용 효율을 저해시키는 것으로 보고되고 있다(Ng et al., 2001). 동애등에 유충의 껍질에 존재하는 키틴은 소화되지 않고 단백질과 결합하여 소화율을 낮추는 역할을 한다(Longvah et al., 2011; Kim 2022; Kim et al., 2019). 이러한 키틴의 작용은 육계에서도 급여 시 단백질의 소화율을 감소시켜

성장률을 저하시킨다(Bovera et al., 2018; Dabbou et al., 2018).

본 연구에서는 일반적으로 어분대체 소재로 연구되고 있는 탈지 동애등에를 이용하여 그 영양적 효과와 키틴(chitin)에 의한 영향을 규명하고자 한다. 국내에서 가장 많이 생산되는 담수어인 뱀장어는 곤충 소재를 활용한 어분대체 연구가 매우 제한적인 실정이다. 따라서 본 연구에서는 뱀장어를 대상으로 탈지 동애등에 분말을 이용한 사육 실험을 진행하여 그 효과를 검토하고 어분대체의 가능성을 검증하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험 사료

실험사료의 원료 조성 및 일반성분 분석 결과를 <Table 1>에 나타내었다. 실험에 사용한 동애등에 유충은 다음산업에서 자체 생산한 개체를 가공하여 사용하였다. 동애등에의 가공은 ㈜엔토모사의 곤충착유기(M-202)에 건조된 유충을 투입하여 오일과 탈지박을 분리하였다. 분리된 탈지박을 햄머밀로 분쇄하여 탈지 동애등에 분말(DBSF)을

<Table 1> Formulation and proximate composition of the defatted black soldier fly powder and experimental diets(%)

| Ingredient               | DBSF* | Control         |        |         |
|--------------------------|-------|-----------------|--------|---------|
|                          |       | Commercial diet | BSF 5% | BSF 10% |
| Commercial diet          |       | 100             | 95     | 90      |
| DBSF powder              |       | 0               | 5      | 10      |
| Proximate composition(%) |       |                 |        |         |
| Moisture                 | 5.4   | 5.8             | 5.5    | 5.8     |
| Crude protein            | 52.3  | 49.7            | 49.6   | 50.3    |
| Crude lipid              | 9.8   | 7.2             | 7.4    | 7.2     |
| Crude ash                | 8.5   | 11              | 11.3   | 11.2    |

Values of Proximate composition are presented as means duplication

\*Defatted black soldier fly were provided by DAUM Agricultural Ind., Korea

제조 하였다. 뱀장어의 사육실험에는 생산된 DBSF를 상업용 반죽 뱀장어 사료에 첨가하여 사용하였다.

실험구의 설정은 대조구(상업사료), 상업사료에 DBSF5% 및 10%를 대체하는 3개 시험구를 설정하였다. 실험 사료의 조단백질 함량은 대조구가 49.7% DBSF5% 및 10% 대체구에서 각각 49.6 및 50.3%를 나타내어 각 시험 구간별 차이는 나타나지 않았다. 조지질 함량은 대조구, DBSF5% 및 10% 대체구에서 각각 7.2, 7.4 및 7.2%를 나타내어 각 시험 구간별 차이는 없었다. 모든 실험사료는 뱀장어에 급이하기 직전 실험 사료 및 반죽용 혼합수 1 : 1.2의 비율로 혼합 반죽하여 공급했다.

## 2. 실험어 및 사육관리

실험에 사용된 뱀장어는 전남 함평에 위치한 양어장에서 구입하였으며 비닐포장 후 산소를 폭기하고 보온 박스에 보관하여 하동 다음산업(주) 사육 시험 시설로 차량 이송하였다. 이송 후 3톤 순환여과식 원형수조에서 사육시험 환경에 적응할 수 있도록 순치 및 예비 사육을 실시하였다.

예비 사육 후 사육시험 시작 평균무게 15g 전후의 뱀장어를 총 9개의 3톤 원형 수조에 각각 100마리씩 무작위로 선택하여 시험사료 구당 3반복이 되도록 배치하여 8주간 사육시험을 실시하였다. 각 시험수조는 순환여과식 시스템으로 여과조로부터 공급되는 사육수의 주수량은 100L/min으로 조절하였고 사육시험 동안의 평균 수온은 가온 히터를 사용하여 뱀장어의 성장 최적 수온인 28~29℃로 설정하였다.

모든 시험수조에 공기발생기(aeration)를 설치하여 충분한 용존 산소를 유지하였으며 급이 시간을 제외한 시간대에 인공광 및 자연광은 차단했다. 실험 사료는 1일 1회 오전(9:00)에 먹이틀에 반죽 사료를 공급하고 1시간 후 남은 반죽 사료를 수거하여 급이량을 계산하였다.

## 3. 어체측정 및 성분분석

뱀장어를 이용한 사육시험 8주 후, 증체율(weight gain; WG, %), 사료효율(feed conversion ratio; FCR) 및 생존율을 다음과 같은 계산식을 이용하여 조사하였다.

$$WGR (\%) = \frac{[\text{final wet weight (g)} - \text{initial wet weight (g)}]}{\text{initial wet weight (g)}} \times 100$$

$$FCR = \text{dry feed intake (g)} / \text{wet weight gain (g)}$$

$$\text{Survival rate (\%)} = \frac{\text{number of fish at harvest}}{\text{number of fish stocked}} \times 100$$

일반성분은 실험사료와 실험어의 전어체를 분석하였으며 수분은 AOAC(1995)의 방법에 따라 건조기를 이용하여 105℃에서 6시간 건조 후 계산하였다. 조단백질(N6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)으로 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였다. 지방산 함량은(Garces and Mancha 1993)의 방법을 기초로 하여 전처리 한 후 gas chromatography (Thermofinigan GC-7860)를 이용하여 분석하였다. 조회분은 회화로에서 600℃로 4시간 동안 태운 후 남아 있는 재의 무게를 측정하여 계산하였다.

아미노산 분석은 전처리한 시료를 0.5mm 이하로 분쇄하고 6N HCL 15ml를 첨가 후 dry oven(110℃, 24h)에서 반응시켰다. 분해된 시료는 water bath(55℃)를 이용하여 2회 감압 농축 시킨 후 25ml flask에 정용하였다. 정용한 샘플을 0.45 ul membrane filter로 여과 후 희석하여 아미노산 분석기(Sykam amino acid analyzer S433)를 이용하여 분석하였다.

## 4. 가혹 환경하의 생존율 분석

사육시험이 종료된 8주 후, 각 시험구별 3개의 수조에서 각각 10마리의 뱀장어 실험어를 무작위

로 선택하였다. 선택된 실험어는 가로 세로 깊이 (30 x 43 x 60cm)의 70L사각 수조에 1리터의 사육수를 주수 한 후 수용하여 산소 공급이 없는 환경에서 생존율을 6시간 간격으로 조사했다. 생존율 조사 기간 동안에는 사료 공급을 중단하고 사육수의 온도는 조절하지 않았다.

### 5. 통계처리

각각의 시험사료구의 배치는 완전확률계획법 (Completely randomized design)을 실시하고, 성장 및 분석결과는 SPSS (IBM SPSS 19 software package) 프로그램을 이용하여 one-way ANOVA로 통계 분석되었다. 데이터 값의 유의차는 Duncan's new multiple range test ( $p < 0.05$ )로 비교되었다.

## III. 연구 결과

8주간의 사육시험 종료 후 시험어의 성장 및 사료효율을 <Table 2>에 나타내었다. 사육시험 결과 대조구의 증체율은 138.2%를 나타내어 DBSF5%, DBSF10%의 101.4 및 101.3%에 대비하여 유의적으로 높은 결과를 나타내었다( $P < 0.05$ ). 또한 사료효율에 있어서도 대조구는 1.41을 나타내어 DBSF5%, DBSF10%의 1.62 및 1.64에 대비하여 유의적으로 좋은 결과를 나타내었다 ( $P < 0.05$ ). 이 결과에 따라 사료 내 DBSF 첨가가 뱀장어의 성장에 있어서는 효과를 나타내지 않는 것으로 추측되었다. 또한 모든 시험구에서 사육시험 기간 중에 폐사 개체는 나타나지 않았다.

실험사료 및 사육실험 종료 후 전어체 내 지방산 중의 라우릭산(Lauric acid) 함량을 <Table 3>에 나타내었다. 라우릭산은 동태등에의 지질 중 높은 비율(20-50%)을 차지하는 중쇄지방산 중 하나로 대부분 에너지 대사과정에 바로 이용되어 체내에 축적되는 정도가 비교적 낮은 것으로 알

려져 있다(Garlid et al., 1996). 그러나 중쇄지방산은 체내에 빠르게 흡수되어 이용된다(stubbs and Harbron, 1996).

<Table 2> Growth performance and feed utilization efficiency of eel fed the test diets after 8 weeks

|          | IBW (g)    | FBW (g)                 | WGR (%)                  | FCR                     | Survival (%) |
|----------|------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------|
| Control  | 15.2 ± 0.4 | 36.2 ± 2.5 <sup>a</sup> | 138.2 ± 2.2 <sup>a</sup> | 1.47 ± 0.1 <sup>a</sup> | 100          |
| DBSF 5%  | 14.5 ± 0.3 | 29.2 ± 1.4 <sup>b</sup> | 101.4 ± 2.5 <sup>b</sup> | 1.62 ± 0.1 <sup>b</sup> | 100          |
| DBSF 10% | 15.0 ± 0.5 | 30.2 ± 1.2 <sup>b</sup> | 101.3 ± 3.2 <sup>b</sup> | 1.64 ± 0.1 <sup>b</sup> | 100          |

Values are means ± standard error(SE) of triplication. values in a same column with different superscript letters are significantly different (Duncan's test,  $P < 0.05$ ). IBW and FBW are abbreviation for initial body weight and final body weight, respectively. Weight gain rate(WGR), feed conversion ratio(FCR) and survival were calculated using the following formula :  $WGR(\%) = \{[\text{final wet weight(g)} - \text{initial wet weight(g)}] / \text{initial wet weight(g)}\} \times 100$ .  $FCR = \text{dry feed intake(g)} / \text{wet weight gain(g)}$ .  $Survival\ rate(\%) = \text{number of fish at harvest} / \text{number of fish stocked} \times 100$ .

<Table 3> Lauric acid content in fatty acid(%) in test diets and whole body of eel after 8 weeks

| Lauric acid content | Test diet |                        |                        | Whole body             |                        |                        |
|---------------------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                     | Control   | DBSF 5%                | DBSF 10%               | Control                | DBSF 5%                | DBSF 10%               |
|                     | 0         | 3.9 ± 0.1 <sup>b</sup> | 6.0 ± 0.2 <sup>a</sup> | 0.1 ± 0.1 <sup>c</sup> | 0.5 ± 0.1 <sup>b</sup> | 1.2 ± 0.2 <sup>a</sup> |

Values are means ± standard error(SE) of triplication. values in a same column with different superscript letters are significantly different(Duncan's test,  $P < 0.05$ ).

본 연구에 사용된 실험사료의 지방산 중의 라우릭산 함량은 상업사료 DBSF5% 및 DBSF10% 첨가구에서 각각 0, 3.9 및 6.0%가 검출되었으며

상업사료에서는 검출되지 않았다. 또한 사육실험 및 1.2%의 지방산 중 함량을 나타내었다. 이 결  
 종료 후 전어체 내 라우릭산 함량은 상업사료 과로부터 뱀장어 사료의 지방산 중 라우릭산 함  
 DBSF5% 및 DBSF10% 첨가구에서 각각 0.1, 0.5 량의 증가에 따라 뱀장어 체내에 라우릭산이

<Table 4> Proximate fatty acid composition of the test diets and whole body of eel after 8weeks (% of lipid)

|                               | Test diet |         |          | whole body         |         |         |          |
|-------------------------------|-----------|---------|----------|--------------------|---------|---------|----------|
|                               | Control   | DBSF 5% | DBSF 10% | Initial whole body | Control | DBSF 5% | DBSF 10% |
| Butyric acid C4:0             | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Caproic acid C6:0             | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Caprylic acid C8:0            | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Capric acid C10:0             | 0.00      | 0.24    | 0.34     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Undecanoic acid C11:0         | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Lauric acid C12:0             | 0.00      | 3.94    | 6.03     | 0.11               | 0.11    | 0.47    | 1.19     |
| Tridecanoic acid C13:0        | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Myristic acid C14:0           | 9.14      | 9.00    | 8.27     | 10.25              | 8.51    | 8.31    | 8.47     |
| Myristoleic acid C14:1        | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.11               | 0.08    | 0.00    | 0.09     |
| Pentadecanoic acid C15:0      | 0.59      | 0.52    | 0.45     | 0.44               | 0.31    | 0.27    | 0.30     |
| Pentadecenoic acid C15:1      | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Palmitic acid C16:0           | 44.67     | 40.70   | 40.76    | 45.66              | 47.13   | 47.50   | 45.44    |
| Palmitoleic acid C16:1        | 3.78      | 3.78    | 3.49     | 5.45               | 5.13    | 5.37    | 4.88     |
| decanoic acid C17:0           | 0.46      | 0.44    | 0.40     | 0.22               | 0.14    | 0.17    | 0.17     |
| Heptadecenoic acid C17:1      | 0.00      | 0.12    | 0.00     | 0.10               | 0.08    | 0.08    | 0.06     |
| Stearic acid C18:0            | 12.26     | 11.20   | 11.46    | 6.37               | 6.85    | 5.74    | 7.09     |
| Elaidic acid C18:1            | 0.00      | 0.11    | 0.12     | 0.09               | 0.10    | 0.09    | 0.11     |
| Oleic acid C18:1              | 11.18     | 10.58   | 10.83    | 22.58              | 24.87   | 25.20   | 24.81    |
| Linolelaidic acid C18         | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Linoleic acid C18:2           | 2.40      | 3.18    | 3.51     | 2.04               | 1.07    | 1.59    | 1.81     |
| Arachidic acid C20:0          | 0.23      | 0.20    | 0.26     | 0.14               | 0.22    | 0.11    | 0.13     |
| γ-Linolenic acid C18:3        | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.02               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Eicosenoic acid C20:1         | 1.42      | 1.22    | 1.15     | 1.00               | 0.15    | 1.13    | 1.14     |
| Linolenic acid C18:3          | 0.62      | 0.68    | 0.65     | 0.34               | 0.22    | 0.25    | 0.26     |
| Heneicosanoic acid C21:0      | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Eicosadienoic acid C20:2      | 0.00      | 0.08    | 0.00     | 0.22               | 0.15    | 0.15    | 0.17     |
| Behenic acid C22:0            | 0.00      | 0.09    | 0.14     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Eicosatrienoic acid C20:C41   | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.11               | 0.07    | 0.00    | 0.07     |
| Erucic acid C22:1             | 0.00      | 0.25    | 0.00     | 0.07               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Eicosatrienoic acid C20:3     | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.03               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Tricosanoic acid C23:0        | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Eicosatetraenoic acid C20     | 0.46      | 0.43    | 0.39     | 0.24               | 0.17    | 0.17    | 0.19     |
| Docosadienoic acid C22:2      | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Lignoceric acid C24:0         | 0.00      | 0.00    | 0.00     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Eicosapentaenoic acid C20:5n3 | 7.91      | 7.73    | 7.07     | 1.69               | 1.21    | 1.28    | 1.24     |
| Nervonic acid C24:1           | 0.00      | 0.17    | 0.16     | 0.00               | 0.00    | 0.00    | 0.00     |
| Docosahexaenoic acid C22:6n3  | 4.88      | 5.34    | 4.52     | 2.72               | 2.24    | 2.12    | 2.38     |

축적되는 것이 확인되었다. 실험사료 및 사육실험 종료 후 전어체 내 지방산 함량을 <Table 4>에 나타내었다. 사료 내 지방산의 구성은 어류의 성장과 발달에 직 간접적으로 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Miles and chapman, 2006). 시험사료의 DBSF 함량의 증가에 따라 동태등에의 지방산에서 유래하는 라우릭산(Lauric acid)은 대조구, DBSF5% 및 DBSF10%구에서 각각 0, 3.9 및 6.0%를 나타내었다. 또한 리놀레익산(Linoleic acid)은 대조구, DBSF5% 및 DBSF10%구에서 각각 2.4, 3.2 및 3.5%를 나타내어 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 고도 불포화 지방산인 EPA 및 DHA는 근소하게 감소하는 경향을 나타내었다. 8주간의 사육시험 종료 후 전어체의 지방산 조성에 있어서는 라우릭산은 대조구, DBSF5% 및 DBSF10%구에서 각각 0.1, 0.5 및 1.2%를 나타내

어 증가하였으며 리놀레익산은 DBSF5% 및 DBSF10%구에서 각각 1.1, 1.6 및 1.8%를 나타내어 체내에 축적되는 경향을 나타내었다. 그러나 EPA 및 DHA는 각 시험구간별 차이가 나타나지 않았다. 이 결과에 따라서 뱀장어에 있어서는 동태등에의 지방산 구성이 뱀장어의 지방산 요구에 따른 필요량을 충족시키는 역할을 한다고 추측되었다.

실험사료 및 사육실험 종료 후 전어체 내 지방산 중의 아미노산(amino acid)함량을 <Table 5>에 나타내었다. 곤충박은 어분에 비해 메티오닌(Met), 라이신(Lys)과 같은 일부 필수아미노산의 함량이 낮다고 알려져 있다(Ghosh et al., 2017; Nogales-Merida et al., 2019). 본 연구에 사용된 실험사료의 Met 및 Lys 함량은 DBSF 첨가량의 증가에 따라 0.01~0.2% 전후로 근소하게 감소하는

<Table 5> Proximate amino acid composition test diets and whole body of eel after 8weeks (% of protein)

|               | Test diet |         |          | Initial whole body | Whole body |         |          |
|---------------|-----------|---------|----------|--------------------|------------|---------|----------|
|               | Control   | DBSF 5% | DBSF 10% |                    | Control    | DBSF 5% | DBSF 10% |
| Aspartic Acid | 4.79      | 4.58    | 4.52     | 1.13               | 1.84       | 1.81    | 1.78     |
| Threonine     | 2.15      | 2.07    | 2.03     | 0.38               | 0.82       | 0.80    | 0.80     |
| Serin         | 1.96      | 2.00    | 1.99     | 0.24               | 0.66       | 0.75    | 0.73     |
| Glutamic Acid | 6.73      | 6.70    | 6.56     | 1.77               | 2.60       | 2.72    | 2.65     |
| Proline       | 2.25      | 2.27    | 2.28     | 0.70               | 0.90       | 0.96    | 1.07     |
| Glycine       | 3.18      | 3.08    | 3.06     | 1.19               | 1.40       | 1.49    | 1.74     |
| Alanine       | 3.04      | 3.06    | 3.05     | 0.90               | 1.25       | 1.23    | 1.31     |
| Valine        | 2.61      | 2.51    | 2.51     | 0.67               | 1.02       | 0.95    | 0.95     |
| Isoleucine    | 2.23      | 2.12    | 2.08     | 0.54               | 0.92       | 0.84    | 0.84     |
| Leucine       | 3.68      | 3.56    | 3.50     | 0.87               | 1.47       | 1.38    | 1.36     |
| Tyrosine      | 1.68      | 1.74    | 1.78     | 0.19               | 0.56       | 0.63    | 0.55     |
| Phenylalanine | 2.09      | 2.03    | 2.01     | 0.58               | 0.88       | 0.84    | 0.84     |
| Histidine     | 2.20      | 2.21    | 2.27     | 0.63               | 0.97       | 0.82    | 0.90     |
| Lysine        | 4.29      | 4.04    | 3.89     | 0.97               | 1.65       | 1.54    | 1.51     |
| Arginine      | 3.10      | 2.98    | 2.92     | 0.88               | 1.21       | 1.22    | 1.23     |
| Cysteine      | 0.68      | 0.70    | 0.65     | 0.45               | 0.25       | 0.18    | 0.11     |
| Methionine    | 0.52      | 0.51    | 0.48     | 0.39               | 0.09       | 0.08    | 0.07     |

경향을 나타내었으나 Met 및 Lys을 추가적으로 보충할 필요성은 없다고 판단되었다. 그러나 DBSF를 10%이상 사용한다면 Lys 함량의 부족분을 보충할 필요가 있다고 추측되었다. 8주간의 사육시험 종료 후 전어체의 아미노산 조성은 각 시험구간에서 큰 차이는 없었으며 Met 및 Lys 함량에 있어서도 대동소이한 분석 결과를 나타내었다.

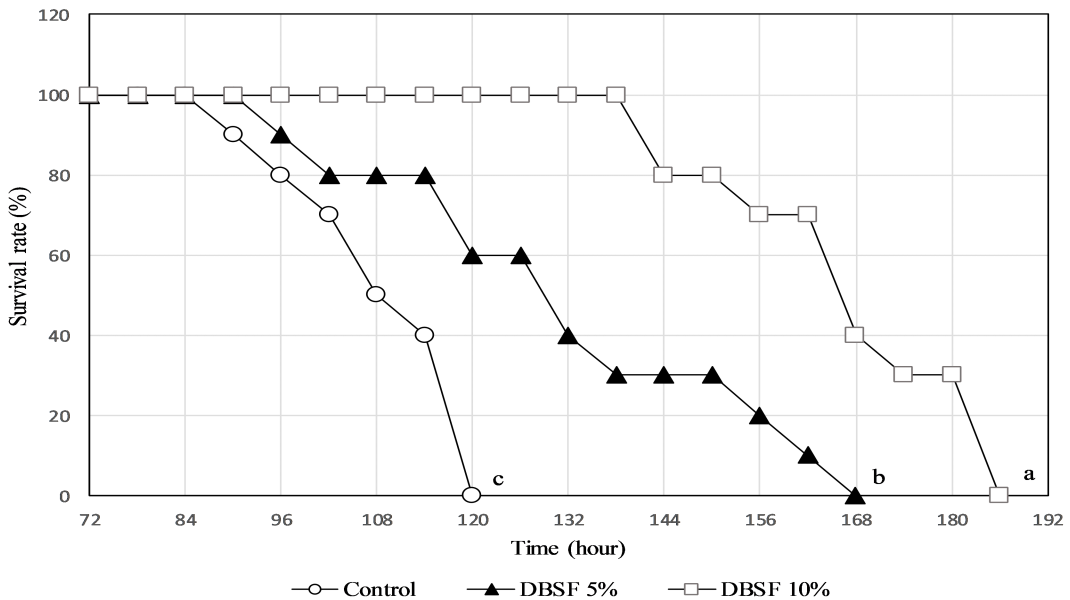
8주간의 사육시험 종료 후 산소공급이 없는 스트레스 환경 하에서 뱀장어의 생존율을 [Fig. 1]에 나타내었다. 체내에 흡수된 라우릭산은 에너지원의 역할과 함께 세균과 바이러스에 대한 항균, 항생력(Kwon et al., 2016)을 가지고 있어 체내 면역력을 증강(Tassanakajon et al., 2013)시키는 역할을 한다고 보고되어 있다.

또한 용존산소(DO)는 어류의 생존과 성장에 필수적인 요인으로 작용하고 있다(Dalla Via et al., 1998). (Wedemeter 1976)은 연어과 어류 등 활

동성이 높은 어류는 용존산소 5mg/L 이하에서는 심각한 스트레스를 받으며(Seong and Kim 2007) 따라서 연어의 치어는 야간보다 용존산소가 급격히 하강하는 오전 및 주간에 폐사율이 5배 이상 높았다고 보고하고 있다.

용존산소가 제한된 극한적인 스트레스 환경에서 각 실험구의 뱀장어 시험어에서 유의적인 폐사율의 차이가 나타났다( $P < 0.05$ ). 대조구에서는 실험 시작 후 3일(86시간)부터 폐사가 발생하여 5일(120시간) 경과 후 실험 뱀장어의 모든 개체가 폐사했다. 그러나 DBSF5%구에서는 90시간 경과 후 폐사가 발생하기 시작하여 7일(168시간) 후 모든 개체가 폐사했다. DBSF10%구는 136시간 경과 후 폐사가 발생하기 시작하여 186시간 경과 후 실험어의 모든 개체가 폐사하였다.

결과적으로 뱀장어의 체내에 축적된 라우릭산에 따라 극한적 스트레스 조건하에서 모든 개체가 폐사되기까지의 기간이 대조구에 대비하여



[Fig. 1] Survival curves of young eel under anaerobic in a stress test after the 4 weeks feeding trial (means of triplicate) (Different letters within the same elapsed time indicated the significant differences among the experimental diets at the significance level of  $p < 0.05$ ).

DBSF5%구에서 48시간 DBSF10%구에서 66시간 개선되는 결과를 나타내었다. 이 결과는 스트레스 환경 하에서 뱀장어는 체내에 축적된 라우릭산의 함량에 따라 스트레스 내성이 강화되는 특성을 가지는 것으로 확인되었다.

#### IV. 결론

본 연구결과를 종합하면, 탈지 동애등에분말(DBSF)은 뱀장어의 증체율 및 사료효율 개선에는 부정적인 결과를 나타내었다. 그러나 DBSF에 함유된 라우릭산은 스트레스 환경 하에서 생존기간을 개선하는 효과를 나타내며 사료 내 지방산 중 라우릭산의 적정 함량은 6% 전후가 적절할 것으로 판단되었다.

탈지 동애등에 분말은 어분과 그 영양 성분이 유사하여(Barroso et al., 2013; Shin et al., 2020) 어분을 대체하는 단백질원으로 양어사료에 적용되어 연구되어 왔다. 그러나 본 실험 결과에 따르면 뱀장어에 있어서는 동애등에의 단순한 탈지 작업만으로 어분을 대체하기에는 부족한 결과를 나타내었다.

탈지 동애등에 분말에 포함된 키틴(chitin)은 어류의 사료섭취 및 이용성을 감소시켜 성장을 저해시킨다는 보고(Kim 2022: Kim et al., 2019)되고 있으며 본 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다.

뱀장어에 대한 탈지 동애등에 분말의 항 영양 요소로 동애등에의 외골격에 포함된 키틴(chitin)에 의한 소화장애 요인(Longvah et al., 2011)이 관여되었을 가능성이 제기된다. 따라서 항 동애등에를 소재로 하는 어분대체 실험에서는 키틴의 항 영양요소에 대한 충분한 고려가 필요하다고 판단된다.

#### References

- AOAC(1995). Official methods of analysis. Association of the Official Analytical Chemists, Arlington.
- Barroso FG; de Haro C, Sánchez-Muros MJ, Venegas E, Martínez-Sánchez A and Pérez-Bañón C(2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422-423, 193~201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.024>.
- Belghit I, Liland NS, Waagbo R, Biancarosa I, Pelusio N, Li Y, Krogdahl A and Lock EJ(2018). Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 491, 7281. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.016>
- Bovera F, Loponte R, Pero ME, Cutrignelli MI, Calabrò S, Musco N, Vassalotti G, Panettieri V, Lombardi P, Piccolo G, Di Meo C, Siddi G, Fliiegerova K, Moniello G. (2018). Laying performance, blood profiles, nutrient digestibility and inner organs traits of hens fed an insect meal from *Hermetia illucens* larvae. *Research in Veterinary Science* 120, 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.09.006>
- Dabbou S, Gai F, Biasato I, Capucchio MT, Biasibetti E, Dezzutto D, Meneguz M, Plachà I, Gasco L, Schiavone A(2018). Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 9, 1~10. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000685>
- Dalla Via J, Villani P, Gasteiger E and Niederstätter H (1998). Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. *Aquacult* 169, 303~313. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00375-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00375-5)
- Dayrit FM(2015). The properties of lauric acid and their significance in coconut oil. *J Am Oil Chem Soc* 92, 1~15. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2562-7>
- Dumas A, Raggi T, Barkhouse J, Lewis E and



- Weltzien E(2018). The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 492, 24~34.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.038>.
- Garlid KD, Orosz DE, Modriansk M, Vassanelli S and Jezek P(1996). On the mechanism of fatty acid-induced proton transport by mitochondrial uncoupling protein. *J Biol Chem* 39 271, 26152620.
- Ghosh S, Lee SM, Jung C and Meyer-Rochow VB(2017). Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *J Asia Pac Entomol* 20, 686~694.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aspen.2017.04.003>
- Ido A, Ali MFZ, Takahashi T, Miura C and Miura T(2021). Growth of Yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) fed on a diet including partially or completely defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Insects* 12, 722.  
<https://doi.org/10.3390/insects12080722>.
- Kim TH, Choi IH and Chung TH(2019). Effect of *Ptericus Tenebrifer* extract on the growth of juvenile *Litopenaeus vannamei* and water quality. *Jenviron sci int* 28, 1~6.  
<https://doi.org/10.5322/JESI.2019.28.1.1>
- Kim SH, Bae CH, Yun JH, Sim J, Han HS(2019). Evaluation of black soldier fly meal as a dietary animal protein source replacing fish meal in Korea catfish (*Silurus asotus*) *JFMSE* 31(6), 1495~1502  
<http://doi.org/10.13000/JFKSE.2019.12.31>.
- Kim YO(2020). Utilization of black soldier fly meal as a replacement of fishmeal in the diet of juvenile mandarin fish (*Siniperca schrzeri*) 32(2), 388~397.  
<http://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.4.32.2.388>
- Kwon MG, Seo JS, Youn HJ, Park CI, Jeong JM and Bae JS(2016). Effect of the polychaete antimicrobial peptide as feed additives on olive flounder and black rockfish immune activity. *JFMSE* 28, 1640~1650.  
<https://doi.org/10.13000/JFMSE/2016.28.6.1640>
- Li S, Ji H, Zhang B, Tian J, Zhou J and Yu H(2016). Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture* 465, 43~52.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.020>.
- Longvah T, Mangthya K, Ramulu P(2011). Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae. *Food Chemistry* 128, 400~403  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.041>.
- Makkar HPS, Tran G, Heuz V and Ankers P(2014). State-of-the-art-on-use of insects as animal feed. *Anim Feed Sci Technol* 197, 1~33.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>.
- Ministry of oceans and fisheries, Fishery aquaculture production survey.  
<https://www.mof.go.kr/statPortal/cate/statView.do>
- Miles RD and Chapman FA(2006). Standard manual of olive flounder culture. National Institute of Fisheries Science, Busan, Republic of Korea.
- Motte C, Rios A, Lefebvre T, Do H, Henry M and Jintasataporn O(2019). Replacing fish meal with defatted insect meal (*Yellow Mealworm Tenebrio molitor*) improves the growth and immunity of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Animals* 9, 258.  
<https://doi.org/10.3390/ani9050258>
- Ng WK, Liew FL, Ang LP and Wong KW(2001). Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquacult res* 32, 273~280.  
<https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x>
- Nogales Mérida S, Gobbi P, Józefiak D, Mazurkiewicz J, Dudek K, Rawski M, Kierończyk B and Józefiak A. 2019. Insect meals in fish nutrition. *Rev Aquac* 11(4), 1080~1103.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12281>
- Renna M, Schiavone A, Gai F, Dabbou S, Lussiana C, Malfatto V, Prearo M, Capucchio MT, Biasato I, Biasibetti E, De Marco M, Brugiapaglia A, Zoccarato I and Gasco L(2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *J Anim Sci Biotechnol* 8, 57.

- <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0191-3>.  
Schlievert PM, Deringer JR, Kim MH, Projan SJ and Novick RP(1992). Effect of glycerol monolaurate on bacterial growth and toxin production. *Antimicrob Agent Chemother* 36, 626-631.  
<https://doi.org/10.1128/aac.36.3.626>
- Shin JH, Jo SH, Ko DH and Lee KJ(2020). Replacing fish meal with black soldier fly larvae and mealworm larvae in diets for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Korean J Fish. Aqua Sci* 53, 900~908.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0900>
- Shin JH, Shin JB, Eon GH and Lee KJ(2021). Effects of dietary Mealworm(*tenebrio molitor*) larvae and black soldier fly(*hermetia illucens*) larvae on Pacific white shrimp(*Litopenaeus vannamei*): innate immune responses, anti-oxidant enzyme activity, disease resistance against(*Vibrio parahaemolyticus*) and growth *Korean J Fish. Aqua Sci* 54(5), 624~633,  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0624>
- Seong KB and Kim JK(2007). The relationship between environmental conditions and growth of chum salmon Fingerlings. *J Kor Soc Oceanography* 12, 81~85.  
<https://doi.org/10.5322/JESI.2020.29.9.885>
- Stubbs RJ and Harbron CG(1996). Covert manipulation of the ratio of medium-to long-chain triglycerides in isoenergetically dense diets: effect on food intake in ad libitum feeding men. *Int J Obes* 20, 435444.
- Tassanakajon A, Somboonwivat K, Supungul P and Tang S(2013). Discovery of immune molecules and their crucial functions in shrimp immunity. *Fish Shellfish Immunol* 34, 954~967.  
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.09.021>.
- Van Huis A, van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G and van tome P(2013). Edible Insects. Future Prlspects for Food and Feed Security. FAO report, 171.
- Wedeneyer GA(1976). Physiological response of juvenile coho salmon(*Oncorhynchus kisutch*) and rainbow trout(*Salmo gairdneri*) to handling and crowding stress in intensive fish culture. *J of the Fisheries Board of Canada* 33, 12.  
<https://doi.org/10.1139/f76-320>
- 
- Received : 06 October, 2023
  - Revised : 04 December, 2023
  - Accepted : 11 December, 2023