

사료내 맥반석과 BAISM 복합첨가가 치어기 뱀장어 *Anguilla japonica*의 성장과 내병성에 미치는 영향

배준영, 한경민, 이준호, 김상은¹, 이정열², 배승철*

부경대학교 양식학과/사료영양연구소,
¹(주) 다비스톤, ²군산대학교 해양생명과학부

Effects of Dietary Quartz Porphyry and Feed Stimulants, BAISM Supplementation on Growth Performance and Disease Resistance of juvenile eel *Anguilla japonica*

Jun-Young Bae, Kyungmin Han, Jun-Ho Lee, Sang-Eun Kim¹, Jeong-Yeol Lee² and Sungchul C. Bai*
Department of Aquaculture/Feeds & Foods Nutrition Research Center, Pukyong National University, Busan 708-737, Korea
¹Davistone Co. Ltd., Busan 607-822, Korea
²School of Marine Life Science, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

This study investigated the synergistic effects of dietary supplementation of quartz porphyry (QP) and a laboratory developed feed stimulants, BAISM (BS) on growth performance and utilization as the additives for juvenile eel *Anguilla japonica*. Six isoenergetic experimental diets (18.2 kJ/g) were formulated to contain 50% crude protein, 15% lipid with or without dietary QP (Song-Gang stone, Davistone, Korea) and BS supplementation. QP and BS were provided at 0% in the control diet (Q₀B₀) and at 0.7% QP+0% BS (Q_{0.7}B₀), 0.7% QP+0.3% BS (Q_{0.7}B_{0.3}), 0.7% QP+0.5% BS (Q_{0.7}B_{0.5}), 0.7% QP+0.75% BS (Q_{0.7}B_{0.75}) and 0.7% QP+1.0% BS (Q_{0.7}B_{1.0}) in experimental diets on dry matter basis. After four weeks of adaptation, triplicate groups of 30 fish initially averaging 15±0.1g (mean±SD) were randomly distributed into each aquarium, and they were fed one of the experimental diets for 8 weeks. By the end of the feeding trial, weight gain (%), specific growth rate (%), feed efficiency (%) and protein efficiency ratio of fish fed diet Q_{0.7}B_{0.5}, Q_{0.7}B_{0.75} and Q_{0.7}B_{1.0} were significantly higher ($P<0.05$) than those of fish fed the other diets. But, Q_{0.7}B_{0.5}, Q_{0.7}B_{0.75} and Q_{0.7}B_{1.0} were no significant differences ($P<0.05$). In challenge test, fish were infected by intraperitoneal injection of 0.1 mL bacterial suspension with *Edwardsiella tarda* per fish after the feeding trial. As a result, fish fed QP and BS supplemented diets have a significantly higher cumulative survival rate than those of fish fed control diet ($P<0.05$). In conclusion, these results indicated that the optimum dietary supplementation level of QP and BS could be approximately 0.7% quartz porphyry+0.5% BAISM (Q_{0.7}B_{0.5}) of diet based on WG, FER, SGR, PER, cumulative survival rate in juvenile eel *A. japonica*.

Keywords: *Anguilla japonica*, Eel, *Edwardsiella tarda*, Quartz porphyry, Stimulants, BAISM

서론

*Anguilla japonica*는 국내에서 상업적으로 중요한 내수면 양식어종으로 고밀도 양식에 의한 연간 생산량은 7,966 톤에 달하고, 내수면 양식어류 생산량인 15,879톤의 절반 이상(50.4%)을 차지하고 있다(MOMAF, 2006). 이러한 뱀장어 고밀도 양식은 효율을 높일 수는 있으나, 인위적인 양식 시스템에서 뱀장어는 다양한 스트레스(고밀도 사육, 물리적 장애, 수질악화, 항생제 및 화학약품의 남용, 선별 등)에 노출되고 있다(Wendelaar

Bonga, 1977). 이러한 양식 환경은 사육 중인 뱀장어의 체내 에너지 대사의 불균형으로 인한 성장 및 면역력 저하(Barton and Iwama, 1991)를 유발하여 생산량의 감소를 야기하는 직접적인 원인으로 알려져 있다(Pickering, 1992). 또한, 양식장 시설 내 서식하고 있는 상채세균이 생산량 감소의 주요한 요인으로 지적되고 있다(Vadstein, 1997). 세균성 질병으로 인한 문제점을 해결하기 위해 사육수를 소독하거나 항생제를 사용하기도 하는데, 이러한 방법들은 세균 개체군 간의 균형을 불안정하게 만들어 근시안적인 해결책에 지나지 않는다. 장기간의 항생제 사용은 어류에게 많은 스트레스를 줄 뿐만 아니라 환경오염 및 인체에도 악영향을 미칠 수 있다(Park, 2004). 특히, 상품으로 시

*Corresponding author: scbai@pknu.ac.kr

관 시 항생제 잔류검사 시행으로 인해 항생제 및 약제의 오남용에 대해 심사숙고해야 할 시점에 있다(Han, 2003).

따라서 최근 화학제제가 아닌 친환경적인 양어 사료 첨가제에 대한 관심이 집중되고 있고, 양식어류의 성장과 내병성을 향상시키고 동시에 사료유실을 최소화하기 위한 첨가제의 필요성이 대두되고 있다. 현재까지 양어용 사료첨가제에 있어서 산 가수분해물질(Choi et al., 2002), 아미노산 혼합물(Kim et al., 2002a), *Chlorella* (Kim et al., 2002b), β -1,3 glucan (Han, 2003), 어보산(Kim et al., 1998) 등에 관한 연구가 해산어를 중심으로 수행된바 있으나, 뱀장어에 관한 연구는 거의 없다. 본 연구에서 연구에서 이용된 맥반석(quartz porphyry)은 화성암 중 석영암반에 속하는 암석으로 SiO_2 과 Al_2CO_3 및 40여 종의 미네랄로 구성되어 있다. 그 주요한 특성으로 표면과 내부의 무수한 미세구멍이 모세관 현상을 일으켜 유해물질들을 흡착, 분해 및 제거하는 효과가 있는 것으로 보고된바 있고(Yoo, 2003), 치어기 넙치에서 첨가제로써 이용 가능성을 확인한바 있다(Choi et al., 2004). 또한, BAISM은 아미노산핵산 관련 화합물질로 넙치(Choi et al., 2002; Han, 2003; Yoo et al., 2007)와 조피볼락(Kim et al., 2002a)에서 섭취촉진물질로 효과가 있음이 보고되었다.

본 연구는 뱀장어의 성장과 내병성을 향상시키고 동시에 사료유실을 최소화할 수 있을 것으로 판단되는 맥반석과 BAISM의 사료 내 혼합첨가가 치어기 뱀장어의 성장과 체성분에 미치는 영향과 질병 저항성을 확인하고, 사료 내 적정 첨가농도를 구명하였다.

재료 및 방법

실험어 및 사육관리

실험어는 전라남도 나주에 소재한 양만장으로부터 구입한 치어기 뱀장어를 부경대학교 수산과학대학 내 실험실로 운반하여 500 L FRP 수조에서 실험환경에 적응할 수 있도록 4주간 예비 사육 후, 평균 어체중 15 ± 0.3 g (mean \pm SD)인 치어기 뱀장어를 60 L 사각수조에 각 실험구별 30마리씩 3반복으로 무작위 배치하여 8주간 사육실험을 진행하였다. 각 실험 수조는 순환 여과식으로 유수량은 3~4 L/min으로 조절하였고, 에어레이션을 통해 충분한 산소를 공급하였으며, 평균수온은 $25 \pm 1^\circ C$ 를 유지하였다. 일일 사료공급량은 전 실험기간 동안 1일 2회 어체중의 3~4% (10:00, 18:00)로 공급하였고, 사료공급 30~60분 후 남은 사료는 수거하여 $-20^\circ C$ 에서 보관하였다.

실험사료 및 실험설계

실험에 사용된 실험사료의 조성표와 일반성분은 Table 1에 나타내었다. 실험사료의 단백질원으로 어분과 카제인을 사용하였고, 지질원으로는 어유와 대두유를 사용하였으며, 탄수화물원으로는 전분과 텍스트린을 사용하여 조단백질 54.5%, 조지방 15% 및 가용에너지 18.2 kJ/g로 조절하였다. 사료 내 첨가물질로 이용한 맥반석(Quartz porphyry, QP; Song-Gang stone, Davistone, Korea)의 조성은 Table 1에 나타내었다. 실험실에서 제작한 사료 섭취 촉진 물질(BAISM, BS; patent registered, Korea)은 산 가수분해 물질, L-형 아미노산, 핵산 관련 물질 및 염기성 관련

Table 1. Composition and proximate analysis of the six experimental diets

Ingredients	Diets (% of dry matter basis)					
	Q ₀ B ₀	Q _{0.7} B ₀	Q _{0.7} B _{0.3}	Q _{0.7} B _{0.5}	Q _{0.7} B _{0.75}	Q _{0.7} B _{1.0}
Fish meal ¹	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0
Casein ²	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
α -starch ³	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Dextrin ⁴	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Fish oil ⁵	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Soybean oil ⁶	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Quartz porphyry ⁷	0.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
BAISM	0.0	0.0	0.3	0.5	0.75	1.0
Cellulose ⁸	1.7	1.0	0.7	0.5	0.25	0.0
Other ingredients ⁹	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Proximate analysis						
Crude protein	50.5	51.2	50.3	50.6	49.7	50.5
Crude lipid	15.5	14.7	14.2	15.9	15.2	14.8
Crude ash	12.2	11.8	12.0	11.9	12.4	12.2

^{1,3}Provided by Su-hyup Feed Co., Uiryeong, Korea.

^{2,4,8}United States Biochemical (USB), Cleveland, Ohio.

⁵Ewa fat industry Co. Ltd., Busan, Korea.

⁶Dong Suh Oil & Fats, Changwon, Korea.

⁷Main containing minerals (% in Song-Gang stone): Ca 0.6; K 0.19; Na 0.071; Mg 0.02; Fe 0.28; Zn 0.001; P 0.01. Provided by Davistone Co., Busan, Korea.

⁹Other ingredients: 2% vitamin pre-mixture, 2% mineral premix (Bae et al., 2004).

Table 2. The composition of feed stimulants, BAISM

Composition	(%)
KH ¹	< 30
IMP ²	< 20
L-type AA mixture ³	< 20
Betaine ³	< 15

¹Hydrolysates after removing pigments and metals with resin.

²Inosine-5'-monophosphate, Dae-sang, Co., Seoul, Korea.

³Amino acids: proline; threonine; methionine, Sigma Chemical, USA.

물질을 혼합한 조성물로 혼합비는 이전의 연구(Choi et al., 2002; Kim et al., 2002a; Han, 2003; Yoo et al., 2007)를 참고로 하였고, Table 2에 나타내었다. 상기 두 가지 물질의 단독 및 혼합첨가가 치어기 뱀장어에 미치는 영향을 확인하고자 기초사료에 0% QP+0% BS (Q₀B₀), 0.7% QP+0% BS (Q_{0.7}B₀), 0.7% QP+0.3% BS (Q_{0.7}B_{0.3}), 0.7% QP+0.5% BS (Q_{0.7}B_{0.5}), 0.7% QP+0.75% BS (Q_{0.7}B_{0.75}), 0.7% QP+1.0% BS (Q_{0.7}B_{1.0})의 6가지 수준으로 설정하여 수준별로 첨가하였다. 모든 실험사료는 원료를 혼합하여 펠릿기로 압출성형하여 제조하였고(diameter 1 mm), 자연건조시킨 다음 밀봉하여 -20°C에서 보관하면서 실험어에 공급하였다.

어체 측정 및 성분 분석

8주간의 사육실험 종료 후, 어체측정을 위해 실험어를 24시간 절식시킨 후 ethylene glycol phenyl ether 90% (200 ppm)로 마취시켜 수준별 실험어의 전체무게를 측정하였고, 이를 통해 증체율(weight gain, WG), 사료효율(feed efficiency, FE), 일간 성장률(specific growth rate, SGR), 단백질 전환효율(protein efficiency ratio, PER) 및 생존율을 조사하였다. 일반성분은 실험

험사료와 전어체에 대해서 실시하였고, 전어체 분석을 위해서 수준별로 10마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 사용하였다. AOAC (1995)에 의해 수분은 상압 가열 건조법(125°C, 3시간), 조단백질은 Kjeldahl 질소 정량법(N×6.25) 그리고 조회분은 직접 회화법으로 각각 분석하였다. 또한, 조지방은 샘플을 12시간 동결 건조한 후 Soxtec system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 Soxhlet 추출법으로 분석하였다.

누적생존율 조사

Edwardsiella tarda 복강주사에 의한 누적 생존율 조사는 Choi et al. (2004)의 방법에 따라 8주 동안의 사육실험 종료 후 24시간 동안 안정화 후, 어류에 독성을 미치는 *E. tarda* 부유액(1×10⁶ cfu/mL)을 1.5% NaCl이 첨가된 trypticase soy agar (TSA)에 27°C에서 48시간 배양하여 준비하였다. 60 L 사각수조에 실험구별 각 10마리씩 2반복으로 배치하였고, 부유물을 실험어의 복강에 주사(0.1 mL/fish) 후 일별 폐사량을 기록하였다.

통계처리

통계처리는 SPSS program (ver. 10)을 사용하여 분산분석(one way-ANOVA test)을 실시하여 Duncan's new multiple range test에 의해 평균 간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다.

결 과

백반석과 BAISM의 첨가 수준별 6가지 실험사료를 8주간 섭취한 치어기 뱀장어의 증체율, 사료효율, 일간성장률, 단백질 전환효율 및 생존율에 대한 결과는 Table 3에 나타내었다. 증체

Table 3. Growth performance, survival and whole body proximate composition of juvenile eel, *Anguilla japonica* fed six different experimental diets for 8 weeks¹

	Diets ²						Pooled SEM ⁷
	Q ₀ B ₀	Q _{0.7} B ₀	Q _{0.7} B _{0.3}	Q _{0.7} B _{0.5}	Q _{0.7} B _{0.75}	Q _{0.7} B _{1.0}	
Growth performance							
Initial wt. (g)	14.9	15.2	15.1	15.2	14.9	14.8	0.07
Final wt. (g)	23.2	25.0	24.9	25.6	25.7	25.8	0.28
WG ³ (%)	56.2 ^c	64.0 ^b	65.3 ^b	68.7 ^{ab}	72.5 ^a	74.8 ^a	1.64
FER ⁴ (%)	39.0 ^c	44.5 ^{bc}	45.3 ^{bc}	47.7 ^{ab}	50.4 ^{ab}	52.0 ^a	1.14
SGR ⁵ (%)	0.80 ^c	0.88 ^b	0.90 ^b	0.93 ^{ab}	0.97 ^a	1.00 ^a	0.02
PER ⁶ (%)	0.71 ^c	0.81 ^{bc}	0.82 ^{bc}	0.87 ^{ab}	0.92 ^{ab}	0.95 ^a	0.02
Survival (%)	100	100	100	100	100	100	0.00
Whole body proximate composition (% of as-is basis)							
Moisture	68.1	67.8	67.5	67.4	67.7	67.9	0.12
Crude protein	12.7 ^b	13.2 ^b	14.8 ^a	15.4 ^a	15.7 ^a	16.2 ^a	0.41
Crude lipid	16.4 ^a	16.2 ^a	14.7 ^b	14.5 ^b	14.2 ^{bc}	13.4 ^c	0.33
Crude ash	2.82 ^a	2.76 ^{ab}	2.52 ^{bc}	2.43 ^c	2.32 ^c	2.29 ^c	0.07

¹Values are means of triplicate groups, values in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

²Refer to Table 1.

³Weight gain: [(final body weight - initial body weight) / initial weight] × 100.

⁴Feed efficiency ratio: (wet weight gain / dry feed intake) × 100.

⁵Specific growth rate: [(ln(final weight - initial weight) / days of the experiment) × 100.

⁶Protein efficiency ratio: (body weight gain / protein intake) × 100.

⁷Pooled standard error of mean: SD/√n.

율과 일간성장율에 있어서 맥반석 단독 첨가구(Q_{0.7}B₀)와 맥반석BAISM 복합 첨가구(Q_{0.7}B_{0.3}, Q_{0.7}B_{0.5}, Q_{0.7}B_{0.75}, Q_{0.7}B_{1.0})는 대조구(Q₀B₀)에 비하여 유의하게 높았다(P<0.05). 특히, 맥반석 BAISM 복합 첨가구들 중 BAISM 0.5% 이상의 실험구(Q_{0.7}B_{0.5}, Q_{0.7}B_{0.75}, Q_{0.7}B_{1.0})는 나머지 실험구들(Q₀B₀, Q_{0.7}B₀, Q_{0.7}B_{0.3})에 비해 유의하게 높았고(P<0.05), 세 가지 수준에 대한 유의한 차이는 없었다(P>0.05). 사료효율과 단백질전환효율에 있어서 맥반석BAISM 복합 첨가구들 중 BAISM 0.5% 이상의 실험구(Q_{0.7}B_{0.5}, Q_{0.7}B_{0.75}, Q_{0.7}B_{1.0})는 BAISM 0.3%(Q_{0.7}B_{0.3}) 첨가구와 맥반석 단독 첨가구(Q_{0.7}B₀) 및 대조구(Q₀B₀)에 비해 유의하게 높았고(P<0.05), 세 가지 수준에 대한 유의한 차이는 없었다(P>0.05). 한편, 본 실험에서는 8주간의 성장실험 기간 모든 실험구의 생존율은 100%로 사료 내 맥반석과

BAISM의 단독 혹은 복합첨가에 대한 유의한 영향은 없는 것으로 나타났다.

8주간의 수준별 6가지 실험사료를 섭취한 치어기 뱀장어에 대한 전어체의 일반성분 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 전어체의 단백질 함량은 맥반석BAISM과 복합 첨가구(Q_{0.7}B_{0.3}, Q_{0.7}B_{0.5}, Q_{0.7}B_{0.75}, Q_{0.7}B_{1.0})가 맥반석 단독 첨가구(Q_{0.7}B₀)와 대조구(Q₀B₀)에 비해 유의하게 높은 반면(P<0.05), 복합 첨가구간에는 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 지질 함량은 BAISM 0.75% 이상 첨가구인 Q_{0.7}B_{0.75}, Q_{0.7}B_{1.0} 실험구가 나머지 실험구들에 비해 유의하게 높았으나, Q_{0.7}B_{0.75}, Q_{0.7}B_{1.0} 실험구간에는 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 회분 함량은 Q₀B₀와 Q_{0.7}B₀가 나머지 실험구들에 비해 유의하게 높았으나(P<0.05), Q₀B₀와 Q_{0.7}B₀ 간에는 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 한편, 전어체의 수분 함

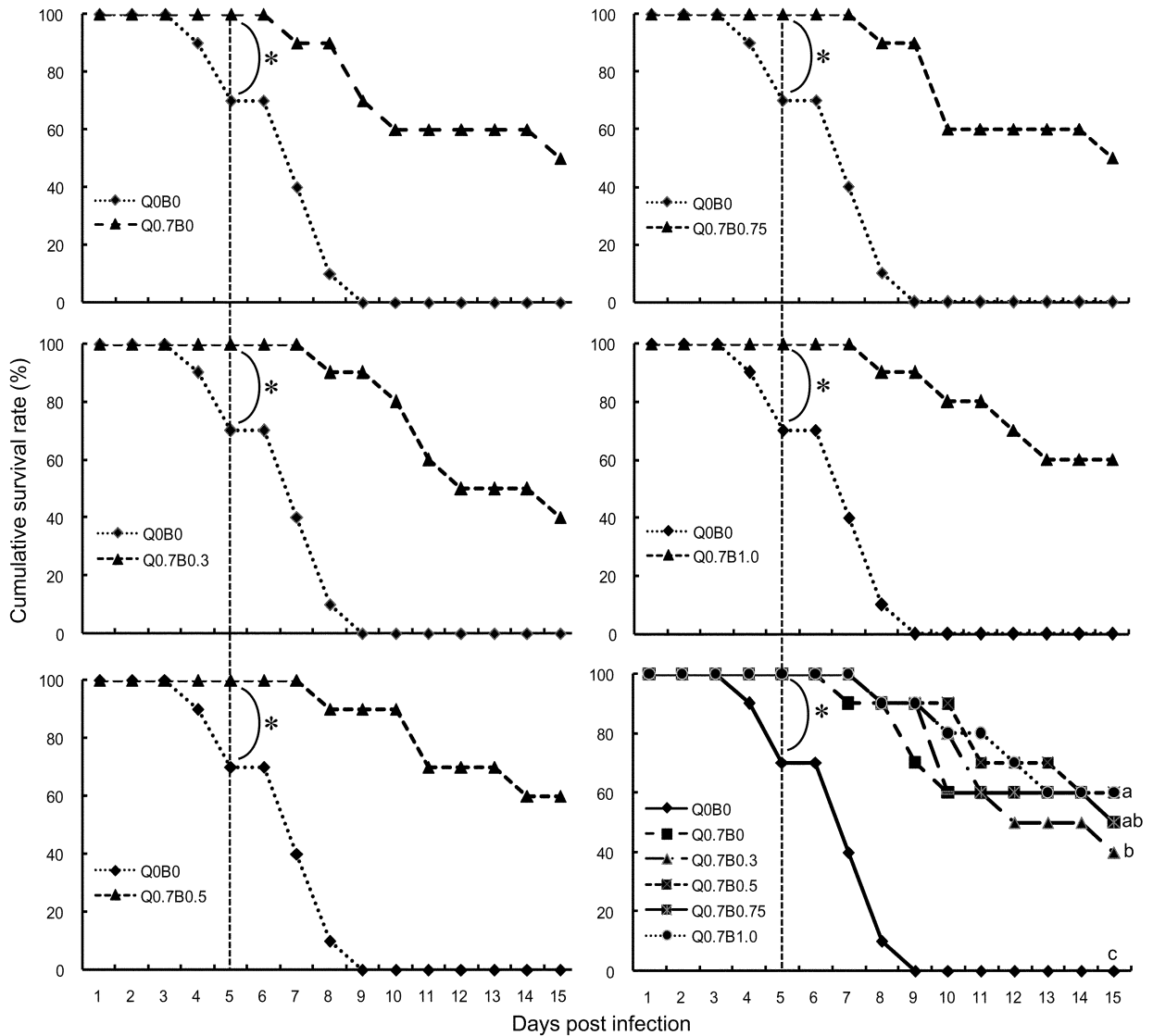


Fig. 1. Cumulative survival rate after intraperitoneal injection with *Edwardsiella tarda* in six experimental group of juvenile eel, *Anguilla japonica*. Diets: Control group (Q₀B₀), 0.7% QP+0% BS (Q_{0.7}B₀), 0.7% QP+0.3% BS (Q_{0.7}B_{0.3}), 0.7% QP+0.5% BS (Q_{0.7}B_{0.5}), 0.7% QP+0.75% BS (Q_{0.7}B_{0.75}), or 0.7% QP+1.0% BS (Q_{0.7}B_{1.0}), respectively. Date were mean of triplicate tanks of 10 fish. Asterisk and different letters in the squares indicates a significant (P<0.05) difference by Duncan's new multiple range test. See legend in Table. 1 for further details.

량은 67.4~68.1%로 모든 실험구에서 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$).

Edwardsiella tarda FPC 799 균주로 복강 내 주사 후 각 실험구별 누적 생존율을 조사한 공격실험의 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 그 결과, 대조구에서는 복강주사 4일 후부터 폐사 개체가 나타나기 시작하였고, 누적 생존율은 주사 5일 후부터 백반석BAISM 단독 혹은 복합 첨가구에 비해 유의하게 낮은 것으로 나타났으며($P<0.05$), 7~8일 전후로 폐사량이 급증하여 주사 9일 후에 모든 실험구가 폐사하였다. 백반석 단독 혹은 BAISM 복합 첨가구에서는 균주 투여 7일 전후로 폐사개체가 발생하기 시작하여 10~12일 전후로 폐사율이 급증하였다. 주사 15일 후, 백반석 단독 첨가구($Q_{0.7}B_0$)와 BAISM 0.5% 이상 첨가구($Q_{0.7}B_{0.5}$, $Q_{0.7}B_{1.0}$, $Q_{0.7}B_{1.0}$)의 누적 생존율은 $Q_{0.7}B_{0.3}$ 실험구에 비해 유의하게 높게 나타났으나($P<0.05$), 이들 실험구간에는 유의한 차이가 없었으며($P>0.05$), 전 실험구에서 40% 이상의 누적 생존율을 나타내었다.

고 찰

이 연구는 사료 내 백반석(quartz porphyry)과 BAISM의 효과를 확인하고자 치어기 뱀장어의 사료 내 6가지 수준별로 백반석 단독 혹은 BAISM 복합 첨가한 사료를 8주간 공급한 결과 성장과 체조성에 영향을 미치는 것으로 나타났고, 성장실험 이후 공격실험을 통해 내병성 증대에도 효과가 있는 것으로 확인되었다.

Choi et al. (2004)는 치어기 넙치에 백반석을 사료 내 0.5~2.0% 첨가 시 성장률과 사료효율 증대와는 직접적인 관련성이 없는 반면 0.5% 첨가 시 질병저항성 및 항균제로서 효과가 있다고 보고하였다. 한편, 가축과 가금의 사료에 소량 첨가하여 공급하면 증체량, 산란율 및 사료효율이 개선되고(Kumich and Reid, 1960; Almquist et al., 1967), 육계사료 내 백반석 첨가 시 배설물의 수분함량 감소 및 영양소를 효율적으로 이용할 수 있는 것으로 보고되었으며(Son and Park, 1997), 백반석을 이용한 유기농법의 개발과 축산에서 소화개선 등의 사료 내 이용 가능성에 대한 연구들이 지속적으로 이루어지고 있다(Choi et al., 1987; Son et al., 1998). 백반석은 화성암류 중 석영암반에 속하는 암석으로 SiO_2 와 Al_2CO_3 및 40여 종의 미네랄로 구성되어 있고, 생체발육과 생리기능을 조절하여 세포의 활력을 유지한다. 이로 인해 동식물의 각종 질병예방과 치료, 살균작용, 체내해독, 교감 신경계의 억제작용, 생육촉진, 수확량 증가의 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Hayashi, 1997). 이러한 미네랄(Fe, Cu, Mn, Zn 등)은 제한적으로 사용되고, 효소반응과 non-enzymatic macromolecules의 구성요소로 작용한다(Watanabe et al., 1997). 이 연구에서 사료 내 백반석 0.7% 첨가 시 대조구에 비해 성장과 사료효율이 유의하게 높았다. 이는 규산염 광물질인 백반석은 그 결합력이 약하기 때문에 뱀

장어의 체내에서 유리되어 효율적으로 이용되었을 것으로 판단되며, 향후 백반석의 어떠한 성분이 성장증대에 기여를 하는지 체내 생화학적인 반응을 확인할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

어류에 있어 섭취 촉진 물질은 분자량이 1,000 미만의 수용성 물질로 대부분 아미노산, 핵산 관련 화합물, 유기산 및 당류 등이 이에 속하며, 초기 유생의 입 붙임용 사료나 식물성 단백질원 사료의 기호성 증대를 위해 주로 이용되고 있다. 이 연구에서 사료 섭취촉진 물질로 이용한 BAISM은 실험실에서 제작한 산 가수분해물질(KH), L-형 아미노산 복합물, 핵산관련물질(IMP), 그리고 염기성 관련물질(betaine)을 혼합한 조성물로 여러 어종에서 그 효과가 보고된바 있다(Choi et al., 2002; Kim et al., 2002a; Han, 2003; Park, 2004; Yoo et al., 2007). BAISM의 주요 성분인 KH는 단백질을 가수분해하여 분리 가능한 아미노산을 회수한 후, 다량의 아미노산을 포함하고 있는 잔여물 중 어류에 필요한 주요 필수 아미노산과 사료 섭취를 촉진할 수 있는 다양한 아미노산을 포함하고 있어 경제성 있는 저가의 양어용 배합사료의 영양 강화 및 사료 섭취 촉진 물질로 이용할 수 있다. 이에 대해 Choi et al. (2002)은 조피볼락에 있어 섭취 촉진 효과는 사료 내 KH에 포함된 여러 가지 아미노산들의 혼합 상승 효과에 기인한 것으로 보고하였고, Harada et al., (1987)은 전복, 미꾸라지 및 방어의 섭취 촉진 효과는 이러한 화합물의 혼합에 의해 상승한다고 보고하였다. 자연계에서 일반적으로 존재하는 L-형 아미노산은 *Anguilla anguilla* (Mackie and Mitchell, 1983), *A. japonica* (Takeda et al., 1984), *Salmo gairdneri* (Adron and Mackie, 1978)의 섭취 촉진에 효과가 있는 것으로 보고되었다. 또한, L-형 아미노산 복합물의 상승 효과에 관해서 *A. japonica*는 Alanine, Glycine, Proline, Histidine (Takii et al., 1986), *A. anguilla*는 Glutamine, Asparagine, Glutamic acid, Alanine (Sola and Tongiorgi, 1998)이 섭취 촉진 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 상기 연구들에 이용된 L-형 아미노산과 본 실험에서 이용된 L-형 아미노산(Proline, Threonine, Methionine)은 약간의 차이를 보이고 있지만, 섭취 촉진 효과는 인정되었다. 이에 대해 향후 뱀장어에 적합한 아미노산들의 검증을 통해 효과적인 사료 섭취 촉진 물질 개발에 관한 연구가 다각적으로 수반되어야 할 것으로 판단된다. 핵산 관련 물질인 IMP와 염기성 관련 물질인 betaine은 단독 첨가 효과 보다는 아미노산과 복합첨가에 의한 혼합 상승효과에 의해 대상 어류의 사료 섭취 효과를 증대시키는 것으로 알려져 있다(Carr et al., 1977; Ikeda et al., 1988).

본 연구 결과 치어기 뱀장어 사료 내 백반석 0.7%를 단독 첨가하여 공급한 실험구가 대조구에 비해 성장률과 사료효율이 유의하게 높았고, 여기에 BAISM 0.5% 이상을 복합 첨가한 실험구가 다른 실험구들에 비해 유의하게 높은 것으로 보아 백반석과 BAISM이 치어기 뱀장어에 사료 섭취 촉진 효과에 의한 감각자극들이 소화흡수 및 영양소의 대사를 활성화하여 성장과

사료효율이 향상된 것으로 판단된다. 이러한 물질들에 대한 혼합 상승 효과는 *Micropterus salmoides*과 *Morone saxatilis*에서 성장률과 사료효율을 향상시킨다는 다른 어종에서의 보고와도 일치하였다(Kubitz et al., 1997; Papatryphon and Soares, 2001). 향후, 상기에 이용된 첨가제들에 대한 이러한 생리적 작용 및 생리기구에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다.

성장실험 종료 후 각 실험구에 대한 전어체 성분의 분석결과 맥반석과 BAISM의 첨가 수준별 수분의 함량에는 모든 실험구에서 유의한 차이가 없었고($P>0.05$), 단백질 함량은 첨가 수준에 따라 유의적으로 증가한 반면($P<0.05$), 지질과 회분의 함량은 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었다($P<0.05$). *Cyprinus carpio*에서 성장이 빠른 실험구의 경우, 전어체의 단백질과 회분은 함량 변화가 적으나 지질 함량은 증가한다고 보고하였고(Murai et al., 1985), *Plecoglossus altivelis*에서 체내 축적된 지방은 지방대사의 호르몬 조절작용에 의해 단백질로 전환되거나 에너지로 이용되는 것으로 보고되었다(Nematipour et al., 1990). 또한, *Paralichthys olivaceus*에서 성장률과 사료효율이 높은 실험구일수록 단백질 함량은 증가하는 반면, 지방 함량은 감소하는 경향을 나타내었다(Kim et al., 2002b). 본 실험의 경우 성장률이 높은 실험구에서 지방 함량이 낮은 것은 이전의 연구결과와 같이 성장의 촉진으로 인한 대사량 증가로 에너지 요구가 증가함에 따라 지방이 소비된 결과로 이는 전어체 내 단백질의 축적률 증가와 지방 대사의 활성화를 통한 지방 축적을 감소시켜 건강한 상태를 유지하고 고급 육질 생산에도 기여할 것으로 판단된다.

8주간의 성장 실험 기간 동안 사료 내 맥반석과 BAISM 첨가 수준에 관계없이 생존율은 모두 100%로 유의한 차이가 없었다. 이후, 맥반석과 BAISM의 단독 혹은 복합 첨가에 따른 수준별 실험사료를 섭취한 실험어들의 내병성 및 항균력을 확인하고자 실시한 공격실험에서 맥반석과 BAISM의 단독 혹은 복합 첨가 첨가구가 대조구에 비해 유의하게 낮은 초기 폐사율을 나타내었다. 특히, BAISM 0.5% 이상 복합 첨가구가 공격 실험에서 좋은 효과가 있는 것으로 확인되었다. 이러한 결과로 볼 때, 8주 동안의 성장실험 기간 동안 체내에 맥반석과 BAISM의 축적 효과가 나타난 것으로 판단된다. 이러한 결과는 타 어종에서 치어기 넙치 사료 내 aloe 0.5% (Kim et al., 2002c), song-gang stone 0.5% (Choi et al., 2004) β-1,3 glucan 0.1%+BAISM 0.9% (Yoo et al., 2007) 첨가 시, *E. tarda*에 대한 내병성이 있는 것으로 보고된 결과를 뒷받침할 수 있다.

따라서 이 연구의 결과에 의하면 치어기 뱀장어에 있어 사료 첨가제로써 맥반석 0.7%와 BAISM 0.5%를 첨가하는 것이 성장, 사료효율, 내병성 증대 및 육질 개선에 좋은 효과가 있을 것으로 판단된다. 이를 통해 뱀장어 양식과 같은 고밀도 사육 환경에서 빈번한 어병 발생으로 인한 생산성 저하와 항생제 남용과 같은 당면한 문제에 대한 하나의 방편이 될 수 있을 것으로 기대한다.

요 약

이 연구는 치어기 뱀장어 *Anguilla japonica*의 사료 내 맥반석(quartz porphyry, QP)과 BAISM을 단독 및 혼합 첨가가 성장과 내병성에 미치는 영향을 확인하고 첨가제로써 이용성을 평가하였다. 사료 내 첨가 물질로 맥반석(Quartz porphyry, QP)과 실험실에서 제작한 섭취 촉진 물질인 BAISM (BS)을 기초 사료에 각각 0% QP+0% BS (Q_0B_0), 0.7% QP+0% BS ($Q_{0.7}B_0$), 0.7% QP+0.3% BS ($Q_{0.7}B_{0.3}$), 0.7% QP+0.5% BS ($Q_{0.7}B_{0.5}$), 0.7% QP+0.75% BS ($Q_{0.7}B_{0.75}$), 0.7% QP+1.0% BS ($Q_{0.7}B_{1.0}$)의 6가지 수준으로 첨가하였다.

실험어는 4주간 예비사육 후, 평균 어체중 15 ± 0.3 g (mean±SD)인 치어기 뱀장어를 60 L 사각수조에 실험구별 30 마리씩 3반복으로 무작위 배치하여 8주간 사육실험을 진행하였다. 사육실험 종료 후, *Edwardsiella tarda* 복강 주사에 의한 누적 생존율을 조사하였다. 증체율, 일간성장률, 사료효율, 단백질전환효율에서 맥반석 단독 첨가구($Q_{0.7}B_0$)와 맥반석 BAISM 복합 첨가구($Q_{0.7}B_{0.3}$, $Q_{0.7}B_{0.5}$, $Q_{0.7}B_{0.75}$, $Q_{0.7}B_{1.0}$)는 대조구(Q_0B_0)에 비하여 유의하게 높았다($P<0.05$). 특히, 맥반석 BAISM 복합 첨가구들 중 BAISM 0.5% 이상의 실험구($Q_{0.7}B_{0.5}$, $Q_{0.7}B_{0.75}$, $Q_{0.7}B_{1.0}$)는 나머지 실험구들에 비해 유의하게 높았고($P<0.05$), 이들에 대한 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 전어체 일반성분의 분석결과 수분 함량은 전 실험구에서 유의한 차이가 없었고($P>0.05$), 단백질 함량은 첨가수준에 따라 유의적으로 증가한 반면($P<0.05$), 지질과 회분의 함량은 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었다($P<0.05$). *E. tarda*에 의한 공격실험 결과 주사 15일 후, 맥반석BAISM 0.5% 이상 혼합 첨가구의 누적 생존율은 다른 실험구에 비해 유의하게 높았고($P<0.05$), 전 실험구에서 40% 이상의 누적 생존율을 나타내었다. 따라서 치어기 뱀장어 사료에 맥반석 0.7%와 BAISM 0.5%를 첨가하는 것이 성장과 사료효율 증대 및 질병 저항성 증진에 효과가 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2004년도 부경대학교 기성회 학술연구비 지원과 제에 의하여 수행된 결과이며, 본 과제의 산학협동 후원사인 (주)다비스톤에 감사드립니다.

참고문헌

- Adron, J. W. and A. M. Mackie, 1978. Studies on the chemical nature of feeding stimulants for rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J. Fish Biol., 12, 303-310.
- Almquist, H. J., H. L. Christensen and J. Maurer, 1967. The effect of bantonites on nutrient retention by turkeys. Feedstuffs, 39, 54-56.

- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis. 16th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.
- Bae, J. Y., K. M. Han, G. J. Park and S. C. Bai, 2004. Studies of requirements of optimum dietary essential fatty acids in juvenile eel, *Anguilla japonica*. J. Aquacult., 17(4), 275–281.
- Barton, B. A. and G. K. Iwama, 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. Ann. Rev. Fish Dis., 1, 3–26.
- Carr, W. E. S., K. M. Blumenthal and J. C. Netherton III, 1977. Chemoreception in the pigfish, *Orthopristis chrysopterus*: the contribution of amino acids and betaine to stimulation of feeding behavior by various extracts. Comp. Biochem. Physiol., 58A, 69–73.
- Choi, D. U., P. K. Jung, K. T. Um, N. K. Park and S. D. Park, 1987. A study on the mineralogical characteristics and its agricultural use of barley stone. J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert., 20(3), 199–204.
- Choi, Y. J., N. J. Lee, Y. J. Cho and S. C. Bai., 2002. Identification of feeding stimulants to improve efficiency of diet for flatfish. J. Kor. Fish. Soc., 35, 196–200.
- Choi, S. M., S. H. Ko, G. J. Park, S. R. Lim, G. Y. Yoo, J. H. Lee and S. C. Bai, 2004. Utilization of song-gang stone as the dietary additive in juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 17(1), 39–45.
- Hayashi, H., 1997. Health effects of mineral dusts. J. Miner. Soc. Kor., 10, 1–17.
- Han, Y. O., 2003. Synergistic effects of dietary β -1,3 glucan and feed stimulants in juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Ms. thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Harada, K., A. Eguchi and Y. Kurosaki, 1987. Feeding attraction activities in the combinations of amino acids and other compounds for abalone, oriental weatherfish and yellow tail. Nippon Suisan Gakkaishi, 53, 1483–1489.
- Ikeda, I., H. Hosokawa, S. Shimeno and M. Takeda, 1988. Identification of feeding stimulant in the krill extract for jack mackerel. Nippon Suisan Gakkaishi, 54(2), 235–238.
- Kim, D. S., J. H. Kim, C. H. Jeong, S. Y. Lee, S. M. Lee and Y. B. Moon, 1998. Utilization of obosan (dietary herbs) I. Effects on survival, growth, feed conversion ratio and condition factor in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. J. Aquacult., 11, 213–221.
- Kim, K. W., G. J. Park, I. H. Ok, S. C. Bai, Y. J. Choi and I. S. Shin, 2002a. Effects of dietary synthetic amino acid supplementation in Korean rockfish fry, *Sebastes schlegeli*. J. Aquacult., 15(3), 157–163.
- Kim, K. W., S. C. Bai, J. W. Koo, X. Wang and S. K. Kim, 2002b. Effects of dietary *Chlorella ellipsoidea* supplementation on growth, blood characteristics, and whole-body composition in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquacult. Soc., 33, 425–431.
- Kim, K. H., Y. J. Hwang, K. W. Kim, S. C. Bai and D. S. Kim, 2002c. Effect of dietary aloe on chemiluminescent responses of peripheral blood phagocytes and resistance against *Edwardsiella tarda* Ewing and Mcwhorter 1965 in the cultured olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquacult. Res., 33, 147–150.
- Kim, K. W., X. J. Wang, S. M. Choi, G. J. Park, J. W. Koo and S. C. Bai, 2003. No synergistic effects by the dietary supplementation of ascorbic acid, α -tocopheryl acetate and selenium on the growth performance and challenge test of *Edwardsiella tarda* in fingerling Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Aquacult. Res., 34, 1053–1058.
- Kubitza, F., L. L. Lovshin and R. T. Lovell, 1997. Identification of feed enhancers for juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides*. Aquaculture 148, 191–200.
- Kumich, A. A. and B. L. Reid, 1960. Poultry nutrition studies with bentonite. Feedstuff, 32, 18.
- Mackie, A. M. and A. J. Mitchell, 1983. Studies on the chemical nature of feeding stimulants for the juvenile European eel, *Anguilla anguilla*. J. Fish Biol., 22, 425–430.
- MOMAF, 2006. Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, Statistical Year Book of Maritime Affairs and Fisheries. Seoul, Korea.
- Murai, T., T. Akiyama and T. Takeuchi, 1985. Effect of dietary protein and lipid levels on performance and carcass composition of fingerling carp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 51(4), 605–608.
- Nematipour, G. R., H. Nakagawa and S. Ohya, 1990. Effect of *Chlorella*-extract supplement to diet on in vitro lipolysis in ayu. Nippon Suisan Gakkaishi 56, 777–782.
- Papatryphon, E. and J. H. Soares, 2001. Optimizing the levels of feeding stimulants for use in high-fish meal and plant feed-stuff-based diets for striped bass, *Morone saxatilis*. Aquaculture, 202, 279–288.
- Park, G. J., 2004. Development of the growth and immune stimulants in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Ph. D. thesis, Department of Fisheries Biology, Pukyong National University, Korea, 143 pp.
- Pickering, A. D., 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. Aquaculture, 100, 125–139.
- Sola, C. and P. Tongiorgi, 1998. Behavior responses of glass eel *Anguilla anguilla* to non protein amino acid. J. Fish Biology, 53(6), 1253–1262.
- Son, J. H. and C. I. Park, 1997. Effects of dietary quartz porphyry supplementation on moisture content of excreta, intestinal ammonia contents and blood composition of growing broilers. Kor. J. Poult. Sci., 24(4), 179–184.
- Son, Y. S., S. H. Kim, S. H. Hong and S. H. Lee, 1998. Effects of feeding bentonite and granite porphyry on ruminal buffering activity and fermentation pattern. Kor. J. Dairy Sci., 20(1), 21–32.
- Takeda, M., K. Takii and K. Matsui, 1984. Identification of feeding stimulants for juvenile eel. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 59, 645–651.
- Takii, K., S. Shimeno and M. Takeda, 1986. The effect of feeding stimulants in diet on some hepatic enzyme activities of eel. Nippon Susan Gakkaishi, 52(12), 2131–2134.
- Vadstein, O., 1997. The use of immunostimulation in marine larviculture: possibility and challenge. Aquaculture. 155, 401–417.
- Watanabe, T., V. Kiron and S. Satoh, 1997. Trace mineral in fish nutrition. Aquaculture, 151, 185–207.

- Wendelaar Bonga, S. E., 1977. The stress response in fish. *Physiol. Rev.*, 77, 591-625.
- Yoo, S. J. 2003. Removal characteristic of heavy metal by Song-Gang stone. MS thesis, Kyungsoong University, Busan, Korea, 65 pp.
- Yoo, G. Y., S. H. Lee, Y. C. Kim and O. E. Okorie, 2007. Effects of dietary β -1,3 glucan and feed stimulants in juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. World Aquacult. Soc.*, 38(1), 138-145.
-
- 원고접수 : 2008년 1월 10일
수정본 수리 : 2008년 2월 18일