배합사료의 수분 함량이 여름 및 겨울철에 사육된 미성어기 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 성장 및 소화관내 사료 통과 시간에 미치는 영향

김경덕*·김동규·김강웅·남명모[1]·이종윤·강용진[2]·손맹현·이상민[3]
국립수산과학원 사료연구센터, [1]동해수산연구소, [2]내수면양식연구센터,
[3]강릉원주대학교 해양생명공학부

Effects of Dietary Moisture Content on the Growth and Gastrointestinal Evacuation of Sub-adult Olive Flounder *Paralichthys olivaceus* in the Summer and Winter Seasons

Kyoung-Duck Kim*, Dong Gyu Kim, Kang-Woong Kim, Myung-Mo Nam[1], Jong Yun Lee, Yong Jin Kang[2], Maeng Hyun Son and Sang-Min Lee[3]
Aquafeed Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Pohang 791-923, Korea
[1]East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Gangneung 210-861, Korea
[2]Inland Aquaculture Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Jinhae 645-806, Korea
[3]Faculty of Marine Bioscience & Technology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

Two experiments were conducted to investigate the effects of dietary moisture content on the growth and gastrointestinal evacuation of sub-adult olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the summer and winter seasons. In the first experiment, three experimental diets containing different moisture levels (7%, 15%) and additives were prepared by adding water and commercial additives (1% nutrients, 1% digestives) to commercial extruded pellets. Fish (initial weight: 332 ± 9.2 g) were distributed randomly into six 3000 L tanks (25 fish/tank) in a flow-through tank system. Two replicate groups of fish were fed the experimental diets to satiation for 14 weeks during the summer season (21.4 ± 2.5℃). Survival, weight gain, feed efficiency, and daily feed intake did not differ significantly among groups. In the second experiment, two experimental diets containing different moisture levels (8%, 23%) were prepared by adding water to commercial extruded pellets. Fish (initial weight: 646 ± 6.7 g) were randomly distributed into six 3000 L tanks (20 fish/tank) in a flow-through tank system. Three replicate groups of fish were fed the experimental diets to satiation for 19 weeks during the winter season (12.2 ± 1.2℃). Weight gain, feed efficiency, and daily feed intake did not differ significantly among groups. Gastrointestinal evacuation rates were determined after the end of the winter feeding trials. The stomach contents of fish fed diets containing different moisture levels peaked within 3 h after feeding and then decreased gradually over 40 h to approach pre-feeding levels. Intestinal contents began to accumulate 3 h after feeding and reached a maximum at 32 h, then declined until nearly complete evacuation around 56 h. The stomach contents reached moisture levels of approximately 70% within 3 h after feeding and then increased gradually. No considerable difference in moisture levels was observed in the stomach contents of fish fed diets with different moisture contents. The results of this study suggest that the gastric evacuation of sub-adult olive flounder was not affected by dietary moisture level and the addition of water to the diet had no beneficial effect on the growth of sub-adult olive flounder in the summer and winter seasons.

Key words: Dietary moisture content, Growth, Gastrointestinal evacuation, Sub-adult olive flounder, Summer and winter seasons

서 론

일반적으로 수중 및 육상동물들은 성장 및 체내 대사활동을 유지하기 위하여 수분을 필수적으로 요구하며 (Adolph, 1933), 이러한 수분 요구량은 수분을 직접적으로 섭취하거나 체내의 많은 화학반응에 의해서 생성된 물 (metabolic water)로 충족된다 (Hughes and Barrows, 1990).

*Corresponding author: kdkim@nfrdi.go.kr

사료의 물성이나 형태는 어류의 사료 섭취에 영향을 미칠 수 있으며 (Kislalioglu and Gibson, 1976; Lemm, 1983), 어종마다 선호하는 사료의 형태와 물성이 차이가 있기 때문에 대상 어종에 맞는 사료를 선택하고 공급하여 어류의 성장에 최대로 이용되고 소화율을 향상시킬 수 있도록 고려해야한다. 건조사료 (Dry pellet)는 습사료에 비해 제조, 운송 및 보관의 측면에서 장점을 가지고 있으며, 수중에서의 안전성이 높다 (Bromley, 1980). 그러나 국내 대다수의 해산어 양어가들은 사료에 수분을 첨가하지 않고 사용하면 넙치의 성장이 저하되고 소화력이 떨어지며 복부 팽창의 원인이 된다고 인식하고 있어 사료에 물을 흡착시켜 공급하는 실정이다. 사료의 수분 함량이 어류에 미치는 영향은 어종에 따라 달라질 수 있으며 (Lee et al., 2000), 사료 중에 적절한 수분 첨가는 어류의 성장, 사료원료의 이용성 및 영양소 소화율을 향상시킴으로써 사료에 소요되는 비용을 감소시킬 수 있다 (Grove et al., 2001; Chatzifotis et al., 2005).

사료의 장통과율 (evacuation rate)은 어류가 섭취한 사료가 단위시간당 위나 장에 남아있는 내용물의 양으로 측정된다 (Double and Eggers, 1978). 어류의 장내 사료 통과시간에 관한 자료는 어류가 얼마만큼의 사료를 섭취하고, 섭취된 사료가 소화하는데 소요되는 시간에 대한 평가로써 중요한 정보가 될 수 있다. 어류의 장내 사료 통과시간은 어체 크기, 사료 형태와 종류 및 수온 등에 영향을 받을 수 있으며 (Karjalainen et al., 1991; Santulli et al., 1993; singh-Renton and Bromley, 1996), 사료의 수분 함량과 원료조성 역시 어류의 장통과율에 영향을 미칠 수 있다고 보고되었다 (Marais and Kissil, 1979; Munsiri and Lovell, 1993). 그래서 본 연구에서는 배합사료에 수분 첨가가 여름 및 겨울철에 사육된 미성어기 넙치의 성장 및 소화관내 사료 통과시간에 미치는 영향에 관하여 조사하였다.

재료 및 방법

실험어 및 사육관리

실험 1 (여름철)에는 시판용 넙치 배합사료 (수분 6.6%, 조단백질 54%, 조지질 12%)를 사용하여 수분을 첨가하지 않은 대조사료 (M7), 대조사료 100 g당 물을 15 g을 첨가한 후 사료에 수분이 균일하게 흡착되도록 충분히 혼합한 실험사료 (M15) 및 물 10%와 영양제 (수용성 및 지용성 비타민, 라이신 및 메티오닌 함유) 및 소화제 (protease 100,000 IU/kg, lipase 400,000 IU/kg)를 각각 1% 씩 첨가한 실험사료 (M15A)로 총 3종류의 실험사료를 준비하였다. 실험어는 4주간 예비 사육하다가 외형적으로 건강한 평균체중 332±9.2 g의 실험어를 선별하여 총 6개 수조 (3000 L)에 25마리씩 실험구별로 2반복 수용하였다. 사료 공급은 1일 1회 (14:00) 실험어가 사료를 먹을 때까지 만복 공급하였으며, 14주간 사육하였다. 자연해수를 각 실험수조에 20 L/min로 조절하여 흘려주었으며, 사육기간 동안의 평균 수온은 21.4±2.5℃ (평균±표준편차)였다.

실험 2 (겨울철)에는 시판용 넙치 배합사료 (수분 8.1%, 조단백질 51%, 조지질 15%)를 사용하여 수분을 첨가하지 않은 대조사료 (M8)와 대조사료 100 g당 물 20 g을 첨가한 후 사료에 수분이 균일하게 흡착되도록 충분히 혼합한 실험사료 (M23)로 2종류의 실험사료를 준비하였다. 실험어는 4주간 예비 사육하다가 외형적으로 건강한 평균체중 646±6.7 g의 실험어를 선별하여 총 6개 수조 (3000 L)에 20마리씩 실험구별로 3반복 수용하였다. 사료 공급은 1일 1회 (14:00) 실험어가 사료를 먹을 때까지 만복 공급하였으며, 19주간 사육하였다. 자연해수를 각 실험수조에 20 L/min로 조절하여 흘려주었으며, 사육기간 동안의 평균 수온은 12.2±1.2℃였다.

소화관내 사료 통과시간 및 위 내용물 수분 함량 측정

실험 2의 겨울철 사육 실험을 종료한 후, 사료의 수분 함량에 따른 각 사료의 장통과 시간 및 위 내용물의 수분 함량 변화를 조사하기 위해 사육 실험 종료한 실험어를 72시간 절식 시키고 각 실험사료를 만복으로 공급하였다. 사료 공급 후 0 (사료공급 직후), 3, 6, 12, 18, 24, 32, 40, 48, 56 및 64시간 경과시 수조에 수용된 실험어 중 5마리를 MS222 200 ppm에 마취시켜 샘플 채취하여 위 및 장 내용물의 무게를 측정하였으며, 위 내용물은 수분 함량 측정을 위한 분석시료로 사용하였다. 위 및 장 내용물의 양은 wet weight (g) of feed in stomach (or intestine) × 100/fish weight (g)으로 나타내었다 (Brett and Higgs, 1970).

어체측정 및 성분분석

어체 측정은 측정 전 48시간 절식시킨 후, 각 수조에 수용된 실험어 전체의 무게를 측정하였다. 실험사료와 실험어의 수분은 135℃에서 2시간 건조 후 측정하였으며, 조단백질 (N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Gerhardt VAP50OT/TT125, KG, Germany)을 사용하여 분석하였다. 조지방은 조지방추출기 (Velp SER 148, Usmate, Italy)를 사용하여 ether로 추출한 후 측정하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS 프로그램을 사용하여 실험 1은 One-way ANOVA test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였고, 실험 2는 t-test로 평균간의 유의성을 검정하였다.

결 과

여름철에 미성어기 넙치를 수분 함량을 달리한 사료와 영양제를 첨가한 사료로 사육한 결과, 생존율은 모든 실험구에서 92~96%였으며 통계적인 차이는 없었다 (Table 1). 증체량, 증체율, 사료효율 (95~103%) 및 일일사료섭취율은 모든 실험구간에서 유의한 차이가 없어, 사료의 수분 첨가 및 첨가제에 따른 영향은 받지 않는 것으로 나타났다. 사육실험 종료시, 실험어의 등근육 및 간의 일반성분 분석결과를 Table 2에 나타내었다. 간의 수분 함량은 M7 실험구가 M15 및 M15A 실험구에 비하여 유의하게 높았으나 (P<0.05), 간의 조단백질 및 조지질과 등근육의 수분, 조단백질 및 조지질 함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었다.

Table 1. Growth performance of sub-adult flounder fed the extruded pellet containing the different moisture contents for 14 weeks during the summer season

	Diets		
	M7	M15	M15A
Initial mean weight (g/fish)	334±12.0^{ns}	336±1.0	326±2.5
Mean weight gain (g/fish)	211±21.0^{ns}	233±3.0	203±8.5
Weight gain (%)[1]	63.6±8.50^{ns}	69.3±1.05	62.1±2.20
Feed efficiency (%)[2]	101±7.6^{ns}	103±1.8	95±4.0
Daily feed intake (% body weight/day)[3]	0.55±0.05^{ns}	0.60±0.01	0.59±0.00
Survival (%)	92±7.7^{ns}	96±0.0	94±2.0

Values are mean ± SE of two replications.
[1](Final body weight - initial body weight) × 100/initial body weight.
[2]Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).
[3]Feed intake (dry matter) × 100/[(initial fish weight + final fish weight + dead fish weight) × days fed/2].
[ns]Not significant ($P>0.05$).

Table 2. Proximate composition (%, wet weight) of the dorsal muscle and liver in sub-adult flounder fed the extruded pellet containing the different moisture contents for 14 weeks during the summer season

	Diets		
	M7	M15	M15A
Dorsal muscle			
Moisture	76.6±0.45^{ns}	76.2±0.10	75.9±0.08
Crude protein	21.2±0.32^{ns}	21.3±0.11	21.3±0.05
Crude lipid	0.5±0.11^{ns}	0.5±0.01	0.8±0.28
Liver			
Moisture	69.1±0.52^{a}	64.2±1.93^{ab}	61.5±1.73^{b}
Crude protein	10.9±0.14^{ns}	10.8±0.83	10.3±0.36
Crude lipid	11.5±1.22^{ns}	16.1±2.51	19.4±2.48

Values (mean±SE of two replications) in each row with a different superscript are significantly different ($P<0.05$).
[ns]Not significant ($P>0.05$).

겨울철에 수분 함량을 달리한 EP 사료로 미성어기 넙치를 19주간 사육한 결과를 Table 3에 나타내었다. 생존율 (95~98%), 증체량, 증체율, 사료효율 (68~74%) 및 일일사료섭취율은 두 실험구간에 유의한 차이가 없었으며, 실험어의 등근육과 간의 수분, 조단백질 및 조지질 함량 또한 수분 함량에 따른 영향을 받지 않았다 (Table 4).

겨울철 사육 실험을 종료한 후 사료의 수분 함량에 따른 각 사료의 위 및 장통과 시간을 조사한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. M8 사료를 섭취한 실험어의 위 내용물은 사료섭취 후 3시간째 최고값을 보였으며, 시간이 경과함에 따라서 점차 감소하였고, 40시간 이후에 거의 없어졌다. M23 사료를 섭취한 실험어의 위 내용물은 사료섭취 후 3~6시간째에 최고값을 보였고, 시간이 경과함에 따라서 점차 감소하였으며, 32시간 이후에 거의 없어졌다. 장 내용물은 M8과 M23 실험구 모두에서 사료 섭취 후 32시간까지 증가하였으며, 이후 56시간까지

Table 3. Growth performance of sub-adult flounder fed the extruded pellet containing the different moisture content for 19 weeks during the winter season

	Diets		P values
	M8	M23	
Initial mean weight (g/fish)	657±10.9	636±1.3	0.20
Mean weight gain (g/fish)	193±8.7	210±31.4	0.65
Weight gain (%)[1]	29.4±1.11	33.1±4.94	0.54
Feed efficiency (%)[2]	68±1.0	74±8.1	0.53
Daily feed intake (% body weight/day)[3]	0.31±0.01	0.32±0.02	0.73
Survival (%)	98±1.8	95±3.3	0.39

Values are mean ± SE of three replications.
[1](Final body weight - initial body weight) × 100/initial body weight.
[2]Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).
[3]Feed intake (dry matter) × 100/[(initial fish weight + final fish weight + dead fish weight) × days fed/2].

Table 4. Proximate composition (%, wet weight) of the dorsal muscle and liver in sub-adult flounder fed the extruded pellet containing the different moisture contents for 19 weeks during the winter season

	Diets		P values
	M8	M23	
Dorsal muscle			
Moisture	74.4±0.36	73.8±0.11	0.24
Crude protein	22.9±0.09	22.8±0.19	0.64
Crude lipid	0.4±0.03	0.4±0.10	0.95
Liver			
Moisture	62.8±2.86	59.4±0.52	0.35
Crude protein	11.2±0.68	10.7±0.48	0.60
Crude lipid	10.5±4.56	14.3±1.92	0.50

Values are mean±SE of three replications.

점차적으로 감소하였다. 사료 수분 함량에 따른 위 내용물의 시간별 수분 함량은 M8과 M23 실험구 모두 사료 섭취 3시간 후, 수분 함량은 70%까지 증가하였으며, 이후 점차 서서히 증가하였지만 사료의 수분 함량에 따른 차이는 없었다 (Fig. 2).

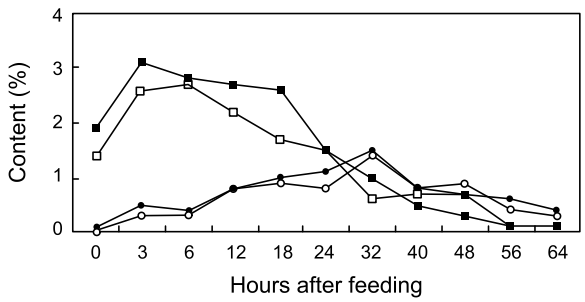

Fig. 1. Gastric contents of sub-adult flounder fed the extruded pellet containing the different moisture contents in the winter season after feeding trial. □: stomach-M23, ○: intestine-M23, ■: stomach-M8, ●: intestine-M8.

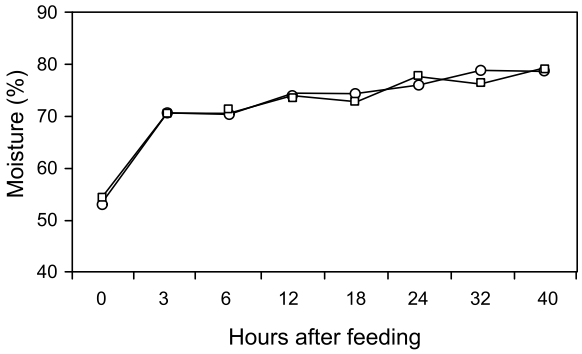

Fig. 2. Moisture level (%) of stomach content in sub-adult flounder fed the extruded pellet containing the different moisture contents in the winter season after feeding trial. ○: M23, □: M8.

고 찰

건조배합사료 (extruded pellet; EP)와 물을 첨가한 배합사료로 여름 및 겨울철에 넙치 미성어를 사육한 본 연구 결과, 생존율, 증체량, 사료효율 및 사료섭취율은 사료의 수분 함량에 영향을 받지 않다. Bromley (1980)는 0~74%의 수분이 함유된 사료를 공급하여 turbot (*Scophthalmus maximus*) 치어를 사육한 실험에서 본 연구 결과와 유사하게 성장은 사료의 수분 함량에 영향을 받지 않았다고 보고하였다. 또한 수분 10%와 36% 사료로 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*) 치어를 사육한 연구에서도 성장 및 사료섭취율에 차이를 보이지 않았다 (Lee et al., 2000). 일반적으로 해산어류의 경우 체내 삼투압 조절을 위해 사료에 적당한 수분이 요구되며 (Ruyet and Noel, 1982; Higgs et al., 1985), 사료에 흡수된 수분이 사료표면을 부드럽게 함으로써 기호성 (palatability)을 높여 사료섭취량을 증가시키고, 사료내 영양소의 이용율을 향상시킬 수 있는 것으로 보고되었다 (Chatzifotis et al., 2005). 사료에 수분 첨가가 어류의 성장에 미치는 영향에 관한 기존의 연구에서 Chatzifotis et al. (2005)은 수분 함량이 다른 사료로 체중 95 g의 dentex를 151일간 사육했을 때 수분 20% 사료 공급구가 수분 7% 및 40% 사료 공급구보다 성장이 증가했다고 보고하였다. 또한 pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) 치어 (0.21 g)의 경우, 사료에 10% 및 20%의 수분을 첨가한 실험구가 7% 및 30%를 첨가한 실험구에 비해 성장이 높았다 (Higgs et al., 1985). 그러나 사료에 수분을 30%까지 증가시키면 대서양연어 (*Salmo salar*) 치어의 성장은 오히려 저하된다고 보고되어 (Hughes, 1989), 사료에 수분 함량이 어류의 성장에 미치는 영향은 어종에 따라 차이를 보였다.

Poston (1974)은 수분 10% 및 35%의 사료로 무지개송어 (*Oncorhynchus mykiss*), 은연어 (*Oncorhynchus kisutch*) 및 chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*)을 사육한 결과, chinook salmon은 수분 35% 사료 공급구가 수분 10% 실험구에 비해 성장이 향상되었으나, 무지개송어 및 은연어는 사료에 수분 함량에 따른 성장 차이가 없었다고 보고하였다. 주요 양식어종들을 대상으로 수분 9%의 사료 공급 2시간 후, 위 내용물의 수분 함량 변화를 조사한 Hughes and Barrows (1990)의 연구에서 위 내용물의 수분 함량은 은연어, 대서양연어 (*Salmo salar*) 및 무지개송어의 경우 각각 63, 68 및 69%였으며, lake trout (*Salvelinus namaycush*)와 walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*)는 71~72%였고 muskellunge (*Esox masquinongy*), largemouth bass (*Micropterus salmoides*) 및 smallmouth bass (*Micropterus dolomieui*)는 73% 이상으로 나타나 어종에 따른 위 내용물의 수분화 능력에 차이를 나타내었으며, 사료의 수분 함량에 따른 어류의 성장 차이는 어종별 위 내용물의 수분화 능력과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고하였다.

본 연구에서 위 내용물의 수분 함량은 사료공급 3시간 후, 사료의 수분 함량에 따른 차이 없이 70% 정도였다. 따라서 배합사료에 수분 첨가는 넙치 위 내용물의 수분 함량 변화에 큰 영향을 미치지 않았으며, 넙치 미성어는 섭취된 사료를 단시간내 위에서 수분화 (hydration)하여 소화시키는 것으로 판단된다. 본 연구 결과와 유사하게 dentex (*Dentex dentex*)의 경우에도 수분 함량 7%, 20% 및 40%의 사료 섭취 2시간 후, 모든 실험구에서 위 내용물의 수분 함량은 60% 까지 유사하게 증가하였다 (Chatzifotis et al., 2005).

겨울철 사육실험을 종료한 후, 수분 함량이 다른 사료 공급에 따른 넙치 미성어의 위와 장내 사료 통과 시간을 조사한 결과, 수분 함량에 따른 위와 장의 내용물 통과 시간에는 큰 차이가 없었다. 이와 유사하게 여름철에 넙치 육성어 (106 g)를 대상으로 수분 9, 21, 30 및 40% 사료를 공급한 후 장내용물 통과시간을 조사한 결과, 사료 수분 함량에 따른 차이를 보이지 않았다 (Unpublished data). 사료의 수분 함량에 따른 장 내용물 통과시간을 조사한 기존의 연구에서 건조사료와 습사료를 섭취한 무지개 송어의 경우, 사료의 수분 첨가는 장 통과시간에 영향을 미치지 않았으며 (Ruohonen et al., 1997), Lee et al. (2000)은 조피볼락 치어에게 10%와 36%의 수분이 첨가된 사료를 사료공급 하였을 때, 위와 장내 사료 통과시간에 차이가 없다고 보고하였다. 또한 dentex 역시 이와 유사한 결과를 보였다 (Chatzifotis et al., 2005).

어류의 장내 사료 통과시간은 어체 크기, 사료조성 및 수온에 영향을 받을 수 있는 것으로 보고되어있다 (Bromley, 1987; Naik et al., 2000; Sweka et al., 2004). 어체 크기에 따른 사료의 장 통과시간에 관한 타 어종의 연구에서 각시가자미 (*Limanda limanda*) 및 turbot (*Scophthalmus maximus*)의 경우, 어체 크기가 커질수록 장내 사료 통과시간이 길어지는 것으로 보고되었다 (Brown, 1957; Jobling et al., 1977; Flowerdew and Grove, 1979). 그러나 squawfish (*Ptychocheilus oregonensis*), perch (*Perca fluviatilis*) 및 yellow perch (*Perca flavescens*)의 장 통과시간은 어체 크기에 따른 차이를 보이지 않아 (Steigenberger and Larkin, 1974; Persson, 1979; Garber, 1983), 어체 크기가 장 통과시간에 미치는 영향은 어종에 따라 차이를 보였다. Perez-Casanova et al. (2009)은 단백질 함량이 다른 사료로 Atlantic cod (*Gadus morhua*)와 haddock (*Melanogrammus aeglefinus*)의 장통과율을 조사한 결과, 두 어

종 모두 사료의 단백질 함량에 따른 장 통과율은 차이가 없었으나, haddock의 장 내용물 통과시간은 48시간으로 Atlantic cod의 72시간에 비하여 더 빠른 것으로 보고하였는데, 이는 수온 11℃에서 haddock의 사료 섭취량, 일간성장율 및 대사율이 Atlantic cod에 비해 높기 때문인 것으로 보고되었다.

본 연구에서 영양제와 소화제를 첨가한 사료 실험구에서 성장 및 사료효율 개선 효과는 나타나지 않았다. Seo et al. (2007)은 넙치의 영양소 요구에 관한 연구를 토대로 제조한 실험사료와 상품사료에 영양제를 첨가하여 사육 실험한 결과, 실험사료 공급구에서는 성장개선 효과가 없었으나, 상품사료 공급구에서는 성장이 향상되었다고 보고하였다. 이러한 결과는 영양제 및 소화제와 같은 첨가제의 효능은 대조사료의 원료조성 및 영양성분에 따라 차이를 보이는 것으로 판단되며, 비타민이나 영양제는 가격이 비싸고 사료 제조시 안정성이 낮은 종류가 있기 때문에 사료 배합시 각각의 첨가량을 중요하게 고려해야 할 것이다 (Lee et al., 1999).

어체 성분 분석 결과, 여름철 사육된 실험어 간의 수분 함량을 제외하고는 사료의 수분에 따른 실험어의 등근육 및 간의 일반성분은 실험구간에서 유의한 차이가 없었다. 이와 유사하게 Seo et al. (2007)의 연구에서도 EP와 EP에 수분을 흡착한 사료로 사육된 넙치 육성어의 체성분은 사료의 수분 첨가에 영향을 받지 않은 것으로 보고되었다.

이상의 결과로 볼 때 배합사료에 수분 함량은 미성어기 넙치의 장내 사료 통과시간에 영향을 미치지 않았으며, 배합사료에 물 첨가에 따른 성장 개선 효과는 나타나지 않았다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 (고효율 배합사료 개발 및 실용화 연구, RP-2011-AQ-006)의 지원에 의해 운영되었습니다.

참고문헌

Adolph EF. 1933. The metabolism and distribution of water in body and tissues. Physiol Rev 13, 336-371.

Brett JR and Higgs DA. 1970. Effects of temperature on rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. J Fish Res Board Can 27, 1767-1779.

Bromley PJ. 1980. The effect of dietary water content and feeding rate on the growth and food conversion efficiency of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). Aquaculture 20, 91-99.

Bromley PJ. 1987. The effects of food type, meal size and body weight on digestion and gastric evacuation in turbot, *Scophthalmus maximus* L. J Fish Biol 30, 501-512.

Brown N. 1957. Experimental studies on growth. In: M. Brown (Editor), The physiology of fishes. Academic press New York, U.S.A., 361-400.

Chatzifotis S, Papadakis IE and Divanach P. 2005. Effect of dietary water on growth of dentex *Dentex dentex*. Fish Sci 71, 1243-1248.

Double BD and Eggers DM. 1978. Diel feeding chronology, rate of gastric evacuation, daily ration and prey selectivity in Lake Washington juvenile sockeye salmon. Trans Am Fish Sot 107, 36-45.

Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics 11, 1-42.

Flowerdew MW and Grove DJ. 1979. Some observations of the effects of body weight, temperature, meal size and quality on gastric emptying time in the turbot, *Scophthalmus maximus*, using radiography. J Fish Biol 14, 229-238.

Garber KJ. 1983. Effect of fish size, meal size and dietary moisture on gastric evacuation of pelleted diets by yellow perch, *Perca flavescens*. Aquaculture 34, 41-49.

Grove D, Genna R, Paralika V, Boraston J, Hornyold MG and Siemens R. 2001. Effects of dietary water content on meal size, daily food intake, digestion and growth in turbot (*Scophthalmus maximus* L.). Aquacult Res 32, 433-442.

Higgs DA, Markert JR, Plotnikoff MD, Mcbride JR and Dosanjh BS. 1985. Development of nutritional and environmental strategies for maximizing the growth and survival of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*. Aquacul 47, 113-130.

Hughes SG and Barrows R. 1990. Measurements of the abilities of cultured fishes to moisture their digesta. Comp Biochem Physiol 96A, 109-111.

Hughes SG. 1989. Effect of dietary moisture level on response to diet by Atlantic salmon. Prog Fish-Cult 51, 20-23.

Jobling M., Gwyther D and Grove DJ. 1977. Some effects of temperature, meal size and body weight on gastric evacuation time in the dab, *Limanda limanda*. J Fish Biol 10, 291-298.

Karjalainen J, Koho J and Viljanen M. 1991. The gastric evacuation rate of vendace (*Coregonus albula* L.) larvae predation on zooplankters in the laboratory. Aquaculture 96, 343-351.

Kislalioglu M and Gibson RN. 1976. Some factors governing prey selection by the 15-spined stickleback, *Spinacha spinachia* (L.). J Exp Mar Ecol 25, 159-169.

Lee SM, Hwang UG and Cho SH. 2000. Effect of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile

Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 187, 399-409.

Lee SM, Jeon MJ and Kim DH. 1999. Effect of supplemental vitamin and/or mineral premixes in the formulated diets on growth of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). J Korea Fish Soc 32, 391-394.

Lemm CA. 1983. Growth and survival of Atlantic salmon fed semi-moist or dry starter diets. Prog Fish-Cult 45, 72-74.

Marais JFK and Kissil GW. 1979. The influence of energy level on the feed intake, growth, feed conversion and body composition of *Sparus aurata*. Aquaculture 17, 203-219.

Munsiri P and Lovell RT. 1993. Comparison of satiate and restricted feeding of channel catfish with diets of varying protein quality in production ponds. J World Aquacult Soc 24, 459-465.

Naik M, Reddy HRV and Annappaswamy TS. 2000. Influence of diet composition, starvation and feeding frequency on gastric evacuation rates on Catla, *Catla catla* (Hamilton) fingerlings. Indian J Anim Sci 70, 1090-1093.

Pérez-Casanova JC, Lall SP and Gamperl AK. 2009. Effect of feed composition and temperature on food consumption, growth and gastric evacuation of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua L.*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus L.*). Aquaculture 294, 228-235.

Persson L. 1979. The effects of temperature and different food organisms on the rate of gastric evacuation in perch (*Perca fluuiatilis*). Freshwater Biol 9, 99-104.

Poston HA. 1974. Effect of feeding brown trout (Salmo trutta) a diet pelleted in dry and moist forms. J Fish Res Brd Can 31, 1824-1826.

Ruohonen K, Grove DJ and McIlroy JT. 1997. The amount of food ingested in a single meal by rainbow trout offered chopped herring, dry and wet diets. J Fish Biol 51, 93-105.

Ruyet TP and Noel T. 1982. Effects of moist pelleted foods on the growth of hatchery turbot *Scophthalmus maximus* juveniles. J World Maric Soc 13, 237-245.

Santulli A, Modica A, Cusenza L, Curatolo A and Amelio VD. 1993. Effect of temperature on gastric evacuation rate and absorption and transport of dietary lipids in sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Comp Biochem Physiol 105A, 363-367.

Seo JY, choi J, Lee JH and Lee SM. 2007. Development of extruded pellet for growth of flounder (*Paralichthys olivaceus*) in commercial scale feeding trials. J Aquacul 20, 114-120.

Singh-Renton S and Bromley PJ. 1996. Effects of temperature, prey type and prey size on gastric evacuation in small cod and whiting. J Fish Biol 49, 702-713.

Steigenberger LW and Larkin PA. 1974. Feeding activity and rates of digestion of northern squawfish (*Ptychocheilus oregonensis*). J Fish Res Board Can 31, 411-420.

Sweka JA, Keith Cox M and Hartman KJ. 2004. Gastric evacuation rates of brook trout. Trans Am Fish Soc 133, 204-210.

2011년 1월 18일 접수
2011년 3월 30일 수정
2011년 4월 11일 수리