

실내외 양식환경에 따른 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*) 양식장 모니터링과 성장특성

최복기 · 최종렬 · 이정호 · 박종성¹ · 김정은 · 황주애 · 김형수*

국립수산과학원 내수면양식연구센터, ¹국립생태원 종복원센터

Fish Farm Monitoring and Growth Performances of Chinese Muddy Loach (*Misgurnus mizolepis*) under Indoor or Outdoor Aquaculture Conditions, Korea by Bok Ki Choi, Jong Ryeol Choe, Jeong-Ho Lee, Jong Sung Park¹, Jung Eun Kim, Ju-ae Hwang and Hyeong Su Kim* (Inland Aquaculture Research, National Institute of Fisheries Science, Changwon 51688, Republic of Korea; ¹Research center for endangered species, National Institute of Ecology, Yeongyang 36531, Republic of Korea)

ABSTRACT The objective of the present study was to investigate fish farm and growth performances of Chinese muddy loach (*Misgurnus mizolepis*) under indoor and outdoor aquaculture conditions for the domestic loach aquaculture industry. The investigation was conducted from August 2017 to October 2019 at one indoor farm (D-site) and two outdoor farms (P1-site and P2-site). Results showed that WG (weight gain), DWG (daily weight gain), and SWG (specific weight gain) based on growth measurements were $175.27 \pm 36.2\%$, $7.98 \pm 3.3\%$, and $0.94 \pm 0.2\%$ at D-site, $320 \pm 34\%$, $4.07 \pm 0.6\%$, and $0.55 \pm 0.1\%$ at P1-site, and $295.9 \pm 53\%$, $4.15 \pm 0.5\%$, and $0.62 \pm 0.1\%$ at P2-site, respectively. WG was higher in outdoor farms (P1-site and P2-site), while DWG and SWG were higher in the indoor farm (D-site). Such differences of the present study might be due to differences in growth, water quality, plant and sale frequency depending on aquaculture types. In particular, outdoor farms takes more than a year to have sales whereas indoor farms can have sales three times in a year.

Key words: *Misgurnus mizolepis*, Chinese muddy loach, growth performances, aquaculture conditions

서 론

미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)는 잉어목(Cypriniformes) 미꾸리과(Cobitidae)에 속하는 담수어류로서 우리나라, 중국, 타이완 등에 분포하며, 하천 하류 부근 물의 흐름이 느리며 바닥이 모래나 펄로 이루어진 곳에 주로 서식한다(Kim and Park, 2002). 작은 수서곤충을 선호하는 잡식성으로 최대 전장 20 cm까지 성장하고(Kim *et al.*, 2005), 예로부터 단백질, 칼슘, 비타민 등이 풍부하여 추어탕과 튀김 같은 식용으로 이용되었으며, 최근에는 낚시미끼, 사료 등으로 사용되면서 내수면 양식 산업에서 주요 양식품종으로 꾸준히 관심 받고 있는 어종이다

(Kim and Lee, 1985).

국내 미꾸라지 양식산업은 1970년대 종자생산 기술이 개발되면서 시작되었고, 1980년대부터 양식어가에 본격적으로 기술보급이 이루어지면서 양식산업이 활성화되었다. 그러나 1991년 전국에 약 200여개가 등록된 미꾸라지 양식장은 1992년 한중 FTA 체결로 중국산 미꾸라지가 수입되고 국내산 미꾸라지의 가격하락과 양식산업의 경쟁력 약화로 2015년에는 128개로 감소되었으며, 현재 국내 미꾸라지 양식산업은 과거에 비해 많이 축소된 실정이다(KOSIS, 2015a). 또한 미꾸라지 양식은 완전양식기술이 개발되었으나 초기 먹이생물의 안정적 공급, 종자생산의 경제성, 전장 5 cm 내외에서 나타나는 치어기 폐사, 중국산 수입 미꾸라지 치어에 비해 높은 국내산 치어 가격 등 해결되지 못한 문제점이 제기되어 왔다.

국내 미꾸라지 생산량은 내수면 양식어업 총 생산량의 2.3% (628톤)에 불과하지만 수입량은 총 내수면 어류 수입량

저자 직위: 최복기 (인턴연구원), 최종렬 (인턴연구원), 이정호 (해양수산연구원), 박종성 (전임연구원), 김정은 (인턴연구원), 황주애 (해양수산연구원), 김형수 (해양수산연구원)

*Corresponding author: Hyeong Su Kim Tel: 82-55-540-2720, Fax: 82-55-546-6292, E-mail: kimk2k@korea.kr

Table 1. Comparisons of aquaculture characters at the survey sites from August 2017 to October 2019

	D-site	P1-site	P2-site
Culture			
Culture type	Indoor tank	Outdoor tank	Outdoor tank
Pond size (m ²)	134	1,653	899
Water circulation	3 times/day	2 time/day	2 time/day
Feed	Commercial feed	Commercial feed	Commercial feed
Feeding	3% of total weight / day	3% of total weight / day	3% of total weight / day
Plant			
Plant frequency	5 times	3 times	2 times
Total length (mm)	9.5 ± 1.4	8.8 ± 1.4	8.4 ± 1.0
Body weight (g)	4.0 ± 2.2	3.5 ± 1.8	3.0 ± 1.3
Plant amount (ton)	20	12	6
Stock density (kg/m ³)	19.1	3.4	3.0
Sale			
Sale frequency	5 times	2 times	2 times
Total length (mm)	12.6 ± 1.7	13.2 ± 1.6	12.5 ± 1.6
Body weight (g)	12.0 ± 5.5	14.0 ± 5.0	12.1 ± 4.5

대비 37% (8,500톤)로 내수면 양식품종 중 가장 큰 비중을 차지하고 있다(KOSIS, 2019). 최근 5년간 생산된 국내 미꾸라지 양식생산량은 국내 미꾸라지 총 소비량 8,000톤 대비 7% 수준(550톤)으로 국내 수요량 대부분을 수입에 의존하고 있으며, 수입용도는 식용 93% (7,975톤)와 양식용 치어 6% (507톤)로 대부분 중국에서 수입되고 있다(NFQS, 2019)

미꾸라지 양식에 관련된 연구로는 미꾸라지 종자생산 기술, 국내산 미꾸라지의 생산성 향상을 위한 초기발생 연구, 연중다중산란 연구, 2배체와 3배체 미꾸라지 생산기술 개발 등이 수행된 바 있다(Kim *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 1993; Kim and Kim, 1995; Kim *et al.*, 1995). 그러나 국내 미꾸라지 양식장의 71% (91개소)는 실외노지의 지수식 양식장으로 운영되고 있음에도 불구하고(KOSIS, 2015b) 양식방법, 사육관리 등 양식현황에 대한 세부적인 기초자료가 매우 부족한 실정으로, 미꾸라지 양식현장의 정확한 기초자료 수집과 분석이 필요한 상황이다.

따라서 본 조사는 국내 미꾸라지 양식산업의 발전과 경쟁력 강화를 위해 국내 실내외 미꾸라지 양식장을 모니터링하고 양식환경에 따른 성장특성을 조사하여 미꾸라지 양식산업 발전을 위한 기초자료를 마련하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사대상지 선정

본 연구는 2017년 8월부터 2019년 10월까지(2년 2개월) 전

남 담양군 소재 실내 양식장 1개소(D-site), 전북 부안군 소재 실외노지 양식장 2개소(P1-site, P2-site)를 선정하여 수행하였다.

2. 미꾸라지 양식장 모니터링과 성장특성 조사

미꾸라지 양식장 모니터링과 성장특성 조사는 월 1회, 1~10일 사이에 3개의 조사양식장을 방문하여 실시하였고 조사 시 탐문을 통하거나 사육일지를 확인하여 양식장별 양식시설, 사육현황(입식시기, 입식량, 입식크기, 사료공급량, 사육밀도, 출하시기, 출하량 및 출하크기)을 조사하였다.

월별 성장도 측정을 위해 30마리의 미꾸라지를 무작위로 뜰채를 이용하여 포획하였고 포획된 미꾸라지는 마취제(MS-222, Sigma-Aldrich, St. Louis, USA)를 이용하여 100 ppm의 농도로 마취시킨 후 1/20 mm 버니어캘리퍼스를 이용해 전장(total length), 체장(body length)을 0.01 mm까지 측정하였고, 체중(body weight)은 전자저울(MW-200, CAS, Korea)을 사용하여 0.01 g까지 측정하였다. 측정된 체중은 증중률(WG, weight gain), 일간증중률(DWG, daily weight gain), 특수증중률(SWG, specific weight gain)을 아래 식으로 산출하였고 입식시 체중(IW, initial weight), 출하시 체중(FW, final weight), 사육일수(T-t)를 사용하여 사육기간과 방법에 따른 성장특성을 분석하였다.

$$\text{증중률(WG, \%)} = (\text{FW} - \text{IW}) / \text{IW} \times 100$$

$$\text{일간증중률(DWG, \% / day)} = (\text{FW} - \text{IW}) / (\text{T} - \text{t}) \times 100$$

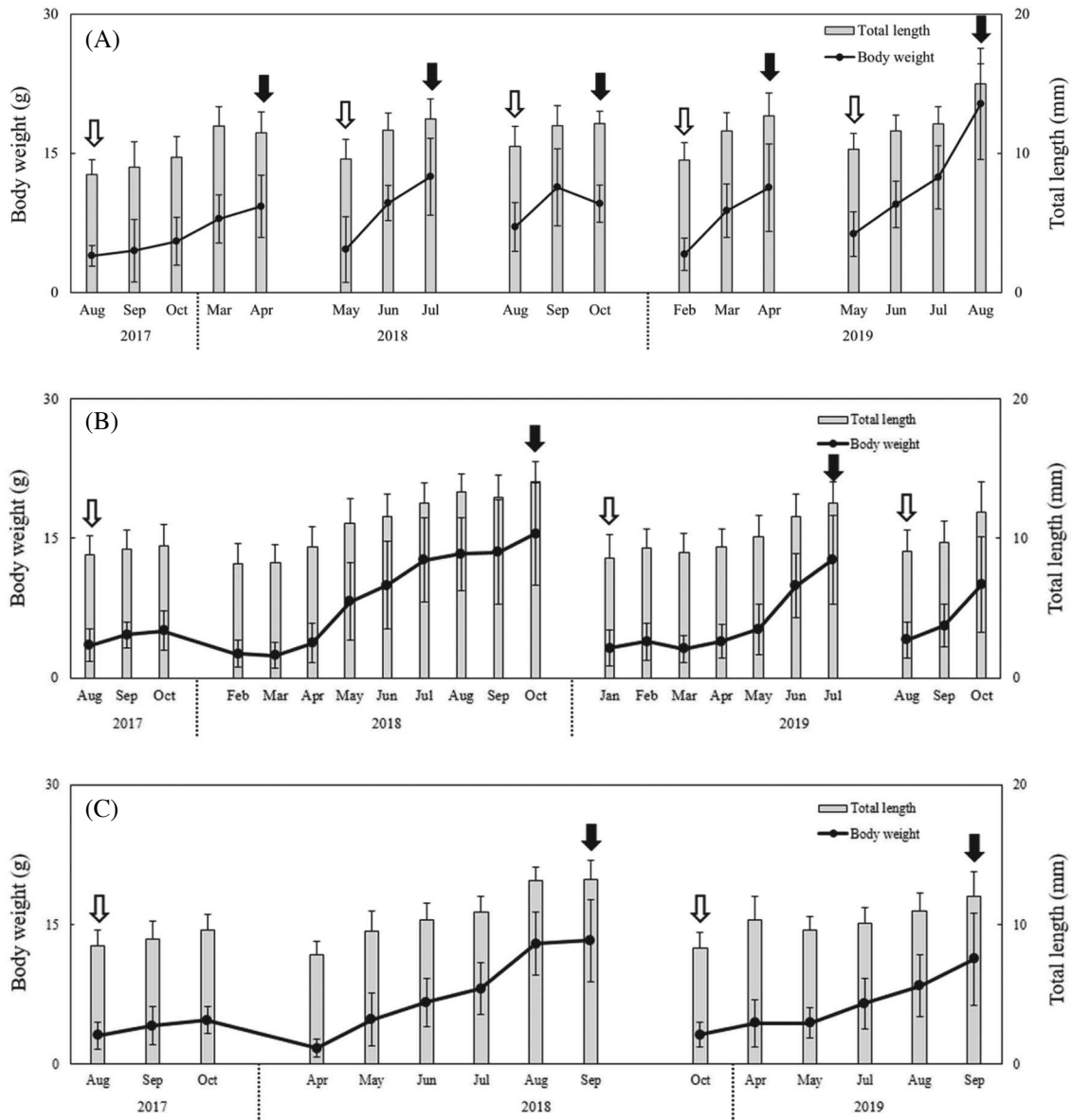


Fig. 1. Mean (\pm SD) growth performances of *Migurnus mizolepis* at the D-site (A), P1-site (B) and P2-site (C) from August 2017 to October 2019 (⇩ : plant, ↓ : sale).

$$\text{특수증중률 (SWG, \%/day)} = (\ln FW - \ln IW) / (T - t) \times 100$$

3. 사육환경 분석

양식장의 사육환경 중 수온, pH, DO 측정은 다항목수질 측정장비 (YSI-58, Yellow spring, USA)를 이용하여 2017년 8월 조사 시작부터 측정하였고, Ammonia, NO₂-N 농도 측정은 2018년 2월 조사부터 수질간이 키트 (Merck KGaA, Germany)를 사용하여 현장에서 측정하고 수치를 기록하였다. 미꾸라지 출하로 인해 양식장의 수조가 빈 경우 사육환경을 측정하지 못하였다.

결과 및 고찰

1. 양식장 모니터링

본 조사를 수행한 실내의 미꾸라지 양식장의 사육시설 및 양식현황은 Table 1과 같다. 실내수조 양식장인 D-site는 바닥면적 134 m²의 수조에 1회 입식시 약 20 ton 가량의 미꾸라지 치어를 수용하였고 조사 기간 동안 총 5회의 입식 및 출하가 있었다. 실외노지 양식장인 P1-site는 바닥면적 1,653 m²의 수조에 1회 입식시 약 12 ton 가량의 치어를 수용하였고 조사 기간 중 총 3회의 입식과 2회 출하가 있었다. 실외노지 양식장인



Fig. 2. Photographic of *Migurnus mizolepis* at the P1-site on February 2018.

P2-site는 바닥면적 899 m²의 수조에 1회 입식시 약 5 ton 가량의 치어를 수용하였으며 조사 기간 중 총 2회의 입식 및 출하가 있었다. 미꾸라지 치어 입식과 출하시기는 양식장마다 조금씩 차이가 있었으나 전량 중국산 미꾸라지 치어를 수입하여 입식한 것으로 확인되었다. 특히 실내양식은 입식에서 출하까지 3회/년 출하가 가능한 것에 비해 실외노지 양식은 1회/년 출하가 가능한 것으로 확인되어 양식생산성 향상을 위한 양식방법의 구조적인 변화가 필요한 것으로 생각된다.

양식품종에 따라 다르지만 양식비용적 측면에서 치어구입비는 경영비 가운데 사료비와 더불어 가장 높은 비중을 차지하고 있어 안정적인 우량종자의 확보와 보급은 양식운영에 있어 매우 중요한 요인이다(Paek and Park, 2016). 국내 미꾸라지 양식산업은 미꾸라지 치어구입을 중국산 치어 수입에 전적으로 의존하고 있는 실정으로 이는 치어가격 변동에 따른 불안정성을 항상 가지게 된다. 국내 미꾸라지 양식산업 발전을 위해서는 친어관리, 치어생산 및 보급, 중간육성이 양성, 출하 및 판매와 같은 세부 업무 분담과 체계적인 양식시스템 기반 구축이 필요할 것으로 판단된다(Lee and Kim, 2006).

2. 성장특성 분석

실내의 양식환경에 따른 미꾸라지의 성장특성 분석결과는 Fig. 1과 같다. 실내 D-site에서는 전장 9.5 ± 1.4 cm, 체중 $4.0 \pm$

2.2 g의 치어를 입식하여 약 4개월 동안 사육하였고 전장 12.6 ± 1.7 mm, 체중 12.01 ± 5.5 g으로 성장시켜 출하하였다. 실외노지 P1-site는 전장 8.8 ± 1.4 cm 체중 3.5 ± 1.8 g, 실외노지 P2-site는 전장 8.4 ± 1.0 cm, 체중 3.0 ± 1.3 g의 치어를 입식하여 약 12~14개월 동안 사육하여 각각 전장 13.29 ± 1.6 mm, 체중 14.07 ± 5.2 g, 전장 12.57 ± 1.6 mm, 체중 12.15 ± 4.5 g으로 성장시켜 출하하였다.

측정된 체중을 기반으로 WG, DWG, SWG를 산출한 결과 실내 D-site는 각각 $175.2 \pm 36.2\%$, $7.9 \pm 3.3\%$, $0.9 \pm 0.2\%$ 로 나타났으며, 실외노지 P1-site는 $320.0 \pm 34.0\%$, $4.0 \pm 0.6\%$, $0.5 \pm 0.1\%$, P2-site는 $295.9 \pm 53.0\%$, $4.1 \pm 0.5\%$, $0.6 \pm 0.1\%$ 로 나타나 WG는 실외노지 P1-site, P2-site에서 높았지만 DWG와 SWG는 실내 D-site에서 높은 것으로 분석되었다. 실내 D-site에서 미꾸라지 사육밀도는 실외노지 P1-site, P2-site보다 5~6배 정도 높았는데 사육기간을 배제하고 입식시보다 출하시 체중의 증가율로만 분석하는 WG는 실내 D-site에서 실외노지 P1-site, P2-site보다 낮았지만, 사육기간을 포함한 DWG, SWG는 사육기간이 3배 정도 긴 실외노지 P1-site, P2-site에서 실내 D-site보다 높게 나타나 경영비용적인 측면에서는 실내양식이 실외노지양식보다 효율적인 양식방법이라고 생각된다.

실내 D-site은 좁은 면적에도 실외노지 P1-site, P2-site보다 5~6배 높은 사육밀도로 미꾸라지 사육이 가능하였는데 이

Table 2. The physic-chemical characters at the survey sites from August 2017 to October 2019

Sites	Year																							
	2017				2018				2019															
	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	
Temperature (°C)	D	23.8	23.5	21.5	21.2	15.7	21.1	22.2	23.8	27.6	27.4	26.9	27.2	19.6	-	18.2	21.6	22.5	24.8	27.3	26.3	23.9	-	-
	P1	23.7	26.6	21.6	17.6	8.1	18.1	18.6	24.1	26.1	30.8	27.0	21.4	13.3	4.8	13.7	13.1	22.7	23.5	26.4	30.5	25.9	-	-
	P2	24.3	27.9	17.9	17.8	-	19.5	16.8	26.7	26.1	33.2	27.0	21.9	14.9	5.3	9.9	11.9	19.8	22.3	26.3	30.2	24.4	18.3	21.6
DO (mg/L)	D	6.56	2.27	4.71	2.21	6.35	4.84	1.39	2.20	1.80	0.77	1.43	3.44	5.52	-	7.16	3.15	3.90	2.19	3.34	2.77	1.84	-	-
	P1	9.16	3.41	10.95	2.5	1.52	11.9	14.09	7.35	4.68	2.26	7.51	6.07	6.34	14.5	19.38	16.28	14.17	8.75	6.33	4.21	1.5	-	-
	P2	11.85	2.46	5.38	2.28	-	13.39	6.96	13.68	7.1	6.32	8.07	9.31	11.18	11.4	10.72	13.37	13.1	8.49	7.55	7.16	7.05	5.13	15.5
pH	D	7.06	6.46	7.18	7.07	7.75	7.38	6.87	6.68	7.31	6.90	7.27	7.28	8.20	-	7.12	7.36	7.25	6.96	7.62	6.54	7.03	-	-
	P1	6.97	6.84	7.49	6.61	7.27	9.01	7.82	7.08	7.08	6.75	6.75	7.00	7.16	6.98	9.14	10.52	9.08	7.87	8.52	8.33	7.03	-	-
	P2	7.10	6.78	6.98	7.83	-	9.79	7.42	8.45	7.10	7.04	6.81	7.58	7.66	6.91	7.35	9.62	7.74	7.44	7.66	7.49	6.84	7.12	9.37
NO ₂ -N (mg/L)	D					2	0	0	2	0	0	0	0	0	-	0	10	0	0	0	0	0	-	-
	P1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	P2					-	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Ammonia (mg/L)	D					10	10	10	10	10	10	10	10	10	-	1	1	0	0	0	0	10	-	-
	P1					0	3	4	10	10	10	10	10	10	0	3	1	1	2	1	2	6	-	-
	P2					-	2	5	0	10	10	10	10	8	10	1	1	3	0	0	0	0	1	0

는 바닥에서 주로 서식하는 미꾸라지의 생물학적 특성상 실내 D-site에서는 미꾸라지의 상태를 직접 육안으로 확인하면서 사육이 가능하고 자연환경의 영향을 거의 받지 않기 때문에 고밀도로 집중적인 사육관리가 가능한 것에 따른 경영적 판단으로 사료된다. 그러나 실내 D-site에서 WG가 실외노지 P1-site, P2-site보다 낮은 상태로 출하되었는데 이는 실내사육에서 미꾸라지의 사육기간이 4개월이 넘을 경우 폐사율이 급격하게 높아지기 때문으로 조사되어 미꾸라지의 양식산업 경쟁력을 위해서는 안정적인 실내사육기술이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

양식생물의 양성은 사육방법에 따라 성장 차이가 다양하게 나타나는 것으로 보고되어 있다(Kim *et al.*, 2014; Jeong *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2018). 국내 미꾸라지 양식장 중 약 71%는 전통적인 실외노지 양식장으로 운영되고 있으며 실외노지 양식장은 실내 양식장에 비해 자연환경의 영향을 많이 받아 안정적이고 통제 가능한 양식이 어렵다(KOSIS, 2015b). 양식방식에 따른 양식생물의 성장특성에 관한 연구 중 해삼은 먹이섭취방식의 특성과 연관된 바닥양식방식에서 채통양식방식보다 성장이 큰 것으로 나타났고(Jeong *et al.*, 2016), 실외 우수식 양식과 실내 순환여과식 양식이 이루어지고 있는 무지개 송어는 실내 순환여과식 양식이 실외 우수식 양식보다 주변환경에 의존적이지 않고 질병관리에 유리하며 사육환경 조절이 가능한 이점 등 경제성이 높다고 보고한 바 있어(Park, 2019), 미꾸라지의 양식방법에 대해서도 꾸준한 모니터링과 경영분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 조사결과 실내 D-site는 8~9월에 미꾸라지를 중국에서 수입하여 입식하면 당해 출하가 가능한 크기까지 성장이 가능하였지만 실외노지 P1-site, P2-site는 당년 출하는 불가능하였고, 특히 동절기(11월~3월) 동안 사료공급을 하지 못해 오히려 입식 시 대비 약 56%의 체중감소가 나타났다. 이로 인해 양식현장은 경영손실이 발생하게 되는데 이는 본 조사에서 국내 처음으로 확인하고 보고하는 바이다(Fig. 2).

3. 사육환경 분석

실내외 미꾸라지 양식장의 사육환경 조사 결과는 Table 2와 같다. 어류는 수질 변화에 민감하게 반응하며 특히 수온은 어류의 성장, 발달, 성숙속 등에 영향을 주는 주요한 요인이다(Narum *et al.*, 2013). 미꾸리(*M. anguillicaudatus*)의 최적성장 수온은 발달 단계에 따라 차이가 있으나 일반적으로 15°C에서 식육이 왕성해지고 25°C 전후에서 최고성장률을 보인다고 보고되어 있다(Jung *et al.*, 1991). 본 조사 결과 실내 D-site에서 수온은 15.7~27.6°C로 미꾸라지가 연중 성장할 수 있는 수온 범위에서 사육관리 되었으나 실외노지 P1-site에서 수온은 4.8~30.8°C, P2-site에서 수온은 5.3~33.2°C로 나타나 계

절에 따라 변화가 큰 것으로 나타났다. 미꾸라지는 수온 6°C 이하에서는 진흙속에 들어가 동면하는 것으로 알려져 있으며 30°C 이상의 고온에 4주 이상 노출될 경우에는 성장에 부정적인 영향을 줄 수 있다고 보고된 바 있다(Cho *et al.*, 2006). 실외노지 P1-site, P2-site는 1월 수온이 5°C 전후로 미꾸라지의 동면 수온 범위이고 7월에는 최고 33°C까지 상승하는 것으로 나타나 수온 및 사육환경의 계절적 변화로 인해 미꾸라지의 성장이 느리고 불안정한 것으로 판단된다.

용존산소(DO)는 어류의 생존에 필수적인 요소이며 사육 밀도를 결정하는 중요한 인자 중 하나이지만(Itazawa and Hanyu, 1991), 미꾸라지는 용존산소가 부족할 시 장호흡을 하는 것으로 알려져 있어(Oh, 2012) 다른 어류에 비해 용존산소의 영향을 적게 받는다. 본 조사에서 용존산소는 실내 D-site에서 0.7~7.1 mg/L, 실외노지 P1-site에서 1.5~19.8 mg/L, P2-site에서 2.2~15.5 mg/L로 나타났는데, 본 조사기간 동안 산소 부족으로 인한 미꾸라지 폐사는 확인되지 않았다(Nam, 2007). 그러나 여름철 고수온을 동반한 용존산소의 하락은 대량폐사의 위험성이 있고 섭식량 감소로 인한 성장저하 및 수질악화 등으로 이어질 수 있으므로 주의해야 할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 실내외 양식방법에 따른 미꾸라지 양식장 모니터링과 성장특성을 조사하여 국내 미꾸라지 양식산업에 대한 기초자료를 확보하고자 수행하였다. 조사는 2017년 8월부터 2019년 10월까지 실내 양식장 1개소(D-site), 실외양식장 2개소(P1-site, P2-site)를 선정하여 수행하였다. 성장도 측정결과를 토대로 WG (weight gain), DWG (daily weight gain), and SWG (specific weight gain) 분석한 결과 D-site에서는 175.27±36.2%, 7.98±3.3%, 0.94±0.2%, P1-site에서 320±34%, 4.07±0.6%, 0.55±0.1%, P2-site에서 295.9±53%, 4.15±0.5%, 0.62±0.1%로 나타났다. WG는 실외노지 양식장(P1-Site과 P2-site)에서 높았지만 DWG와 SWG는 실내양식장(D-site)에서 높게 나타났다. 본 조사 결과의 차이는 실내외 양식방법에 따른 성장도, 수질환경, 출하시기 및 횟수 차이로 인한 것으로 판단된다. 특히 실외 양식은 출하시기까지 1년 이상 소요되었으나 실내 양식은 1년에 3회의 출하가 가능한 것으로 나타났다.

사 사

이 논문은 2020년도 국립수산물과학원 수산시험연구소사업 주

요 양식품종 모니터링 (R2020004)의 지원으로 수행된 연구입니다. 미꾸라지 양식장 모니터링에 협조해주신 양식장 관계자분들께 감사드립니다.

REFERENCES

- Cho, Y.S., S.Y. Lee, L.C. Band, D.S. Kin and Y.K. Nan. 2006. Transcriptional response of major antioxidant enzyme genes to heat stress in mud loach (*Misgurnus mizolepis*). *J. Aquaculture*, 19: 157-165.
- Itazawa, Y. and I. Hanyu. 1991. Respiration. In: Itazawa, Y. and I. Hanyu (eds.), *Fish physiology*. Hangseungsa hyusaenggak, Tokyo, Japan, 34pp.
- Jeong, U.C., J.C. Han and S.J. Kang. 2016. Sea cucumber *Apostichopus japonicus* growth in pond-bottom and lantern-net cultures. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 337-342. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0337>.
- Jung, H.C., K.H. Sun, J.S. Jo and S.Y. Nam. 1991. *Misgurnus anguillicaudatus* growing in winter season by solar thermal heating. *J. Korean Solar Energy*, 11: 31-36.
- Kim, B.H., M.W. Park, T.I. Kim, M.H. Son and S.W. Lee. 2014. The growth and survival rate of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* at different intermediate culture type in net cage or indoor tank. *Korean J. Malacol.*, 30: 235-242. <https://doi.org/10.9710/kjm.2014.30.3.235>.
- Kim, B.S., C.M. An and D.S. Kim. 1995. Histological studies on gonad and germ cell development of diploid and triploid mud loach (*Misgurnus mizolepis*). *J. Aquaculture*, 8: 327-341.
- Kim, B.S. and D.S. Kim. 1995. Early gonadogenesis in diploid and triploid mud loach, *Misgurnus mizolepis*. *J. Aquaculture*, 8: 231-240.
- Kim, D.S., J.H. Km and I.S. Park. 1992. Induced and multiple spawnings by human chorionic gonadotropin injection of the Loach, *Misgurnus mizolepis* (Teleostomi: Cobitidae). *J. Aquaculture*, 5: 109-115.
- Kim, H.S. and H.K. Lee. 1985. Studies on the nutritional value of loach *Misgurnus mizolepis*. *J. Korean Soc. Food. Sci. Nutr.*, 14: 296-300.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. *Freshwater fishes of Korea*. Kyo-Hak Publishing Co. Ltd., Seoul, Korea, 466pp.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.R. Lee, Y.J. Lee, P.J. Kim and J.H. Kim. 2005. *Illustrated book of Korean fishes*. Kyo-Hak Publishing Co., Ltd., Seoul, 615pp.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2015a. Fishery production survey. Retrieved from http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtIPageDetail.do?idx_cd=2748., (accessed 26 Jun. 2020).
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2015b. Fishery production survey. Retrieved from <https://kosis.kr/publication/publicationThema.do?pubcode=IW>., (accessed 26 Jun. 2020).
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2019. Census of agriculture, forestry and fishery survey. Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do>., (accessed 26 Jun. 2020).
- Lee, J.H., H.Y. Park and S.H. Lee. 1993. Spatial and temporal analyses of early embryonic development in loach (*Misgurnus mizolepis*), *Korean J. Anim. Sci.*, 35: 155-162.
- Lee, J.S. and D.Y. Kim. 2006. The current status and future directions of Korean inland freshwater aquaculture. *J. Fish. Bus. Adm.*, 37: 1-24.
- Lee, S.J., Q.T. Jo, Y.H. Do, S.S. Kim and Y.C. Park. 2018. Growth performance of the longline-suspended pacific oysters *Crassostrea gigas* on the coasts of Jeonnam, Korea. *Korean J. Malacol.*, 34: 263-270. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199752>.
- Nam, K.C. 2007. Intestinal respiration and oxygen consumption of mud loach (*Misgurnus mizolepis*). Master thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Narum, S.R., N.R. Campbell, K.A. Meyer, M.R. Miller and R.W. Hardy. 2013. Thermal adaptation and acclimation of ectotherms from differing aquatic climates. *Mol. Ecol.*, 22: 3090-3097. <https://doi.org/10.1111/mec.12240>.
- NFQS (National Fishery Products Quality Management Service). 2019. Quarantine of imported and exported aquatic organisms. Retrieved from <https://nfqs.go.kr/2013/index.asp>., (accessed 26 Jun. 2020).
- Oh, M.K. 2012. Study on respiratory system of *Misgurnus mizolepis* (Cobitidae) related to environmental change of rice field. Doctoral Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, Korea.
- Paek, J.Y. and K.I. Park. 2016. An economic analysis of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). *J. Fish. Mar. Sci. Educ.*, 28: 1280-1289. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2016.28.5.1280>.
- Park, D.H. 2019. A comparative analysis on economic viability of rainbow trout aquaculture by farming method. Master thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.