

사육밀도에 따른 쏘가리(*Siniperca scherzeri*)의 성장 및 체조성 변화

이상민¹ · 김이오^{2*}

¹강릉원주대학교 해양생물공학과, ²충청북도내수면산업연구소

Effect of Stocking Density on the Growth and Body Composition of the Mandarin Fish *Siniperca scherzeri*

Sang-Min Lee and Yi-Oh Kim^{1*}

Department of Marine Biotechnology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea
¹Chungcheongbuk-do Inland Fisheries Research Institute, Chungju 27329, Korea

This study investigated the effects of stocking density on the growth of the mandarin fish *Siniperca scherzeri*, in small (1-year old, 50.2 g/fish) and large (2-years old, 173.1 g/fish) size (age) groups. Small and large fish groups were fed pelleted diets twice daily for 10 and 15 weeks, respectively. In the small group, at the end of the feeding, the weight gain of fish at a density of 4 kg/m³ was lower than that of fish at densities of 3, 2 and 1 kg/m³. However, fish stocking density did not affect feed efficiency. The daily feed intake of fish at a density of 4 kg/m³ was lower than that of fish at densities of 3, 2 and 1 kg/m³. In the large fish group, the weight gain of fish at a density of 4.5 kg/m³ was higher than that of fish at densities of 6, 3 and 1.5 kg/m³. Again, fish stocking density did not affect feed efficiency. The daily feed intake of fish at a density of 4.5 kg/m³ was higher than that of fish at densities of 6, 3 and 1.5 kg/m³. Based on these results, the optimum stocking density for small (50.2 g/fish) and large (173.1 g/fish) mandarin fish is 3 and 4.5 kg/m³, respectively.

Key words: Mandarin fish, *Siniperca scherzeri*, Fish size, Stocking density, Growth

서 론

쏘가리(*Siniperca scherzeri*)는 내수면 품종 중 기호도가 매우 높은 식용어류의 하나로써, 자연자원 증대를 위하여 꾸준히 치어방류 사업을 하여 자원량을 증대시키려고 노력하는 어종으로 소비자의 선호도가 매우 높고 가격이 비싼 고급 어류이다. 하지만 쏘가리의 어획량이 소비자의 요구를 만족시키지 못하는 실정이며, 양식기술 개발로 생산량을 증대시키기 위한 연구가 수행되고 있다(Kim et al., 1988). 쏘가리는 배합사료에 의한 순치가 매우 어렵고 살아있는 물고기만을 잡아먹는 특성 때문에 상품크기까지 사육하기가 어렵다. 쏘가리는 살아있는 어류를 포식하는 생태적인 특성이 다른 담수어류에 비해 매우 강하여 움직임이 없는 배합사료에 대해서는 먹이 탐색 반응을 보이지 않아 사료순치가 어려워 사육이 까다로운 어류이다. 최근에 충청북도내수면산업연구소에서 쏘가리를 대량으로 배합사료에 순치시킬 수 있는 기술을 개발하였다(Kim, 2015). 이러한

결과를 바탕으로 쏘가리 전용사료 개발을 위한 단백질과 지질 함량에 대한 연구가 수행되었다(Zohreh et al., 2017). 이와 더불어 쏘가리의 적정 사육수온(Kim and Lee, 2016) 및 사료내의 어분침가 연구가 수행되고 있다(Kim and Lee, 2017). 향후 산업적으로 쏘가리 양식 생산량을 증대시키기 위해서는 사육기술, 배합사료 품질 향상 등에 다양한 연구들이 계속 수행되어야 할 것으로 판단된다. 쏘가리는 다른 담수어류와 비교하였을 때, 육식성이 강하고 일정한 공간에 영역을 형성하여 군집하는 습성이 있어 적정 사육밀도의 규명은 필요한 사육기반 연구 중의 하나이다. 더불어 쏘가리의 최대성장을 위한 적정 사육수온이 26-29℃를 입을 감안한다면(Kim and Lee, 2016), 고수온에 순환여과시스템을 활용하여 고밀도로 사육하는 것이 경제적으로, 쏘가리 양식시에 적정 사육밀도의 규명은 앞으로 양식생산성과 경제성 확보에 중요한 과제이다.

어류의 적정 성장과 사료효율을 유도하고, 양식생산에 소요되는 비용을 절감하기 위해서는 수온, 염분, 수질요인 등의 외적

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0762>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 50(6) 762-769, December 2017

Received 21 November 2017; Revised 19 December 2017; Accepted 23 December 2017

*Corresponding author: Tel: +82. 43. 220. 6522 Fax: +82. 43. 220. 6529

E-mail address: kimio@korea.kr

요인과 먹이조건, 사육밀도와 같은 생물학적 요인이 고려되어야 한다(Choi et al, 2011). 이들 조건 중 사육밀도는 개체들간의 먹이경쟁과 공간경쟁을 유발시켜 성장에 영향을 미치는 요소(Brett, 1979)로 비용절감과 성장에 영향을 미치기 때문에 다양한 어종에서 검토되어 왔다. 일반적으로는 사육밀도가 높아짐에 따라 성장이 낮아지고 폐사율이 높아지는 현상은 여러 어종에서 일어나는 일반적인 현상이다(Brown et al., 1957; Morrissey, 1992; McClain, 1995; Hwang et al., 2014). 하지만 어류의 성장이 사육밀도에 영향을 받지 않는다는 결과도 보고된 바 있어(Boyce et al., 1998; Irwin et al., 1999; Rowland et al., 2006; Webb et al., 2007), 사육밀도의 범위나 조건에 대한 고려가 필요하다. 따라서, 어종마다 서식환경이나 특성이 다르기 때문에 대상어종에 맞는 적정밀도를 찾기 위한 연구가 필요하다.

본 연구는 쏘가리의 성장단계에 따른 적정 사육밀도를 조사하여 쏘가리 양식산업화를 위한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험어 및 사육관리

실험어는 충청북도내수면산업연구소에서 배합사료로 순치하여 양성한 1년생(50.2 g) 및 2년생(173.1 g) 쏘가리를 각각 사용하였다. 최초 실험어류는 1년생 소형어를 저밀도부터 고밀도까지 1 kg/m³, 2 kg/m³, 3 kg/m³ 및 4 kg/m³이 되도록 실험어류의 마리수를 달리하여 2반복으로 10주간 사육실험을 실시하였으며, 2년생 대형어는 1.5 kg/m³, 3 kg/m³, 4.5 kg/m³ 및 6 kg/m³이 되도록 실험어류의 마리수를 조절하여 2반복으로 배치하여 15주간 사육하였다.

쏘가리의 사육은 어체 크기별로 각각 침전조(2,000 L) 1개와 실험조(3,000 L) 8개가 1세트가 되도록 설계한 순환여과 시스템에서 동일한 수온(24℃)과 수질환경[pH 6.7-7.8, DO (dissolved oxygen) 6.1-7.6]을 유지하면서 실시하였다. 침전조에는 깨끗한 물을 18 L/min 유량으로 계속 보충하고 여분의 사육수는 퇴수구를 통해 빠져 나가도록 하였다. 또한, 침전조에 수중펌프를 사용하여 각각의 실험수조에 동일한 양의 물을 공급하여 순환되도록 하였으며, 에어스톤을 설치하여 충분한 산소를 공급하였다.

실험사료

실험에 사용된 사료는 양어가들이 현장에서 주로 사용하는 뱀장어 양성용 시판 분말사료 80%에 전갱이 어분을 20% 첨가하여 실험사료를 제조하였다(Table 1). 혼합된 소형어 및 대형어 사료 각각의 사료조성물에 적당량의 물을 첨가하여 다시 혼합하여 사료제조기로 pellet 형태로 사료를 성형하였다. 성형된 각각의 실험 사료를 -25℃ 냉동고에 보관하면서 실험어에게 공급하였다.

Table 1. Ingredient and proximate composition of experimental diets for mandarin fish *Siniperca scherzeri*¹

Ingredients (%)	Diets	
	Small size	Large size
Commercial diet ¹	80	80
Fish meal ²	20	20
Chemical analysis (% of dry matter basis)		
Crude protein	53.9	54.7
Crude lipid	7.0	7.2
Ash	10.9	11.4

¹Commercial bind powder for eel produced from Purinafeed incorporation (Seongnam, Korea). ²Mackeral fish meal imported from Chile containing 73% crude protein and 9% crude lipid.

어체측정 및 성분분석

1년생 소형 쏘가리 실험은 사육실험 시작시와 10주에 측정하였으며, 2년생 대형 쏘가리 실험은 시작시와 15주에 최종으로 측정하였으며, 종료시에는 측정 전일 절식시킨 후 tricaine methanesulfonate (MS 222, Sigma, St. Louis, MO, USA) 100 ppm 수용액에 마취시켜 실험어의 무게를 측정하였다. 어체의 성분분석을 위하여 각 실험수조에서 5마리씩을 시료로 취하여 냉동보관(-25℃)하였다. 실험사료 및 어체의 일반성분은 AOAC (1995)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 건조 후 측정하였다. 회분은 600℃ 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정 하였다.

혈액분석

실험사료 공급에 따른 실험어의 혈액성분 변화를 조사하기 위해 각 실험수조마다 쏘가리 5마리씩 무작위로 추출하여 헤파린 주사액이 처리된 1 mL 주사기를 사용하여 실험어의 미부 혈관에서 채혈하였다. 채혈한 혈액을 7,500 rpm에서 10분간 원심분리하여 얻은 혈장을 동결보존(-70℃)하면서 혈액분석기 (DRI-CHEM NX500i, FUJIFILM, Japan)를 사용하여 total protein (TP), total cholesterol (TCHO), glutamic oxaloacetic transaminase (GOT), glutamic pyruvic transaminase (GPT), alkaline phosphatase (ALP), total bilirubin (TBIL) 및 albumin (ALB)을 각각 분석하였다.

통계분석

결과의 통계처리는 SPSS Ver. 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 로 평균 간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

10주간의 사육실험 후, 1년생 소형 쏘가리의 성장 및 사료이용성을 Table 2와 Table 3에 각각 나타내었다. 사육실험기간 동안의 생존율, 성장률 및 일간성장률은 4 kg/m³ 실험구가 1, 2 및 3 kg/m³ 실험구보다 유의하게 낮은 결과를 나타내었으나 (P<0.05), 1, 2 및 3 kg/m³ 실험구간에는 유의적인 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 사료효율은 모든 실험구간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 쏘가리의 일일사료섭취율 및 일일단백질섭취율에서는 4 kg/m³ 실험구가 1, 2 및 3 kg/m³ 실험구보다 유의하게 낮은 결과를 나타내었으며(P<0.05), 단백질 전환율에서는 4 kg/m³ 실험구가 1, 2 및 3 kg/m³ 실험구보다 높은 결과를 나타내었다(P<0.05).

15주간의 사육실험 후, 2년생 대형 쏘가리의 성장 및 사료이

용성을 Table 4와 Table 5에 각각 나타내었다. 사육실험기간 동안의 생존율은 94% 이상으로 모든 실험구간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 증중율 및 일간성장률은 4.5 kg/m³ 실험구가 1.5 및 3 kg/m³ 및 6 kg/m³ 실험구보다 유의하게 높았다(P<0.05). 사료효율은 실험구간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 쏘가리의 일일사료섭취율 및 일일단백질섭취율에서는 4.5 kg/m³ 실험구가 1.5, 3 및 6 kg/m³ 실험구보다 유의하게 높은 결과를 나타내었으며(P<0.05), 단백질 전환율에서는 4.5 kg/m³ 실험구가 1.5 및 3 kg/m³ 실험구보다 유의하게 낮은 결과를 나타내었다(P<0.05).

본 실험에서 쏘가리 1년생(50.2 g)의 실험에서 1-3 kg/m³ 밀도 실험구에서 생존율 및 성장에 차이가 없다가 4 kg/m³ 밀도 실험구에서 생존율 및 성장이 낮아졌다. 틸라피아(141 g)를 대상으로한 30-50 마리/m³ 밀도 실험구에서는 생존율 및 성장에

Table 2. Growth performance and feed efficiency of 1-year old mandarin fish *Siniperca scherzeri* fed experiment diet for 10 weeks¹

Stoking density (kg/m ³)	Initial mean weight (g)	Survival (%)	Final mean weight (g)	Weight gain (%) ²	SGR (%/day) ³	Feed efficiency (%) ⁴
1	50.3±0.14 ^{ns}	95.0±2.0 ^b	119.1±1.65 ^b	136.7±2.85 ^b	1.23±0.02 ^b	76.8±1.05 ^{ns}
2	50.4±0.60	95.0±2.0 ^b	120.9±2.90 ^b	139.8±7.80 ^b	1.25±0.05 ^b	78.1±1.15
3	50.2±0.39	95.0±1.0 ^b	113.2±2.85 ^b	125.4±3.90 ^b	1.17±0.03 ^b	77.2±5.20
4	50.0±0.61	83.0±1.0 ^a	100.3±1.75 ^a	100.5±5.90 ^a	1.00±0.05 ^a	68.1±1.00

¹Values (mean±SE of replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). ²Weight gain (%)=(final body weight - initial body weight)×100/initial body weight. ³SGR=(Ln final weight of fish - Ln initial weight of fish)×100/days of feeding trial. ⁴Feed efficiency (%)=fish wet weight gain×100/feed intake (dry matter). ^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 3. Daily feed intake (DFI), daily protein intake (DPI) and protein efficiency ratio (PER) of 1-year old mandarin fish *Siniperca scherzeri* fed experiment diet for 10 weeks¹

Stoking density (kg/m ³)	DFI (%) ²	DPI (%) ³	PER(%) ⁴
1	1.43±0.01 ^b	0.72±0.01 ^b	2.53±0.02 ^a
2	1.43±0.05 ^b	0.78±0.02 ^b	2.55±0.07 ^a
3	1.35±0.11 ^b	0.74±0.06 ^b	2.65±0.21 ^a
4	1.04±0.05 ^a	0.57±0.03 ^a	3.14±0.13 ^b

¹Values (mean±SE of replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). ²Daily feed intake=feed intake×100 / [(initial fish wt.+final fish wt.+dead fish wt.)×days reared / 2]. ³Daily protein intake=protein intake×100 / [(initial fish wt.+final fish wt.+dead fish wt.)×days reared / 2]. ⁴Protein efficiency ratio=wet weight gain / protein intake.

Table 4. Growth performance and feed efficiency of 2-year old mandarin fish *Siniperca scherzeri* fed experiment diets for 15 weeks¹

Stoking density (kg/m ³)	Initial mean weight (g)	Survival (%)	Final mean weight (g)	Weight gain (%) ²	SGR (%/day) ³	Feed efficiency (%) ⁴
1.5	173.1±0.39 ^{ns}	94.0±2.00 ^{ns}	279.8±6.20 ^a	61.8±3.95 ^a	0.46±0.03 ^a	60.0±2.70 ^{ns}
3	173.1±1.42	97.0±1.00	329.9±1.65 ^b	90.6±0.50 ^b	0.62±0.01 ^b	62.4±1.35
4.5	173.0±0.49	97.5±1.50	368.0±3.70 ^d	112.7±2.80 ^c	0.72±0.01 ^c	60.5±1.65
6	173.1±0.14	94.0±1.00	346.5±0.80 ^c	110.1±0.35 ^b	0.67±0.01 ^b	60.0±2.20

¹Values (mean±SE of replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). ²Weight gain (%)=(final body weight - initial body weight)×100/initial body weight. ³SGR=(Ln final weight of fish - Ln initial weight of fish)×100/days of feeding trial. ⁴Feed efficiency (%)=Fish wet weight gain×100/feed intake (dry matter). ^{ns} Not significant (P>0.05).

차이가 없다가 60-70 마리/m³ 밀도 실험구에서는 생존율 및 성장이 낮아지는 결과를 보여 본 실험과 유사한 경향을 나타내었다(Yi et al., 1996). 사육밀도의 증가가 생존율에 영향을 미치지 않는다는 연구결과가 많이 있으나(Watanabe et al., 1990; Ahmad et al., 1999; Wallat et al., 2004), 생존율을 저하시킨다는 연구결과도 많이 보고 되어 있다(Cruz and Ridha, 1991; Yi et al., 1996; Yi and Kwei Lin, 2001). 본 실험결과에서도 가장 고밀도 실험구(4 kg/m³)에서 생존율 및 성장이 유의하게 낮은 결과를 나타내었다.

또한, 쏘가리 2년생(173.1 g)의 실험에서 1.5-4.5 kg/m³ 밀도에서는 밀도가 증가함에 따라 성장이 유의하게 증가하다가 6 kg/m³ 밀도 실험구에서는 4.5 kg/m³ 밀도구보다 유의하게 성장이 낮아졌다. 하지만 6 kg/m³ 밀도 실험구의 성장은 1.5 kg/m³ 및 3 kg/m³ 밀도 실험구와는 차이가 없었고, 전실험구간에서 생존율에 차이가 없었던 점으로 보아, 6 kg/m³ 밀도 실험구가 고밀도 사육에 의한 성장과 생존율 저하를 유발하는 밀도는 아닌 것으로 판단된다. 이러한 결과는 틸라피아(54 g/fish)를 대상으로 한 실험에서도 30-60 마리/m³ 밀도 실험구까지는 성장이 유의하게 증가하다가 70 마리/m³ 실험구에서 성장이 감소하였으나 생존율에서는 전 실험구간에서 차이를 보이지 않아서 본 실험과 유사한 경향을 보였다(Yi et al., 1996).

사육밀도는 어류의 생존, 성장 및 활동성에 영향을 미치는 요소다(Brown et al., 1992; Cruze and Ridha, 1991; Hargreaves et al., 1991; Irwin et al., 1999; Wallat et al., 2004; Watanabe et al., 1990). 고밀도 사육은 성장률을 감소시키며, 폐사율을 증가시키는 것으로 잘 알려져 있다(Kincaid et al., 1976; Lee et al.,

1996). 그러나, 이와는 반대로 어중에 따라서 저밀도로 사육하는 것이 오히려 폐사를 유발할 수 있고(Refstie, 1977; Bjoernsson, 1994), 저밀도에서 특정 고밀도까지 밀도를 증가시켜도 성장에 영향을 미치지 않았으며(King et al., 1998; Fairchild and Howell, 2001), 고밀도 사육이 성장률, 생존율 및 사료효율을 증가시켰다는 상반된 결과들도 보고 되고 있다(Rowland et al., 2006; Watanabe et al., 1990). 따라서, 어중에 따라 적정 사육밀도는 달라질 수 있으므로 경제성을 고려하여 사육어종의 크기에 따른 최적 사육밀도의 규명은 매우 중요하다.

기존의 타어종의 적정 사육밀도를 보면, 황점볼락(3 g)은 3 kg/m³ (Yoon et al., 2007), 필리핀 뱀장어(3-40 g)는 1.4-3 kg/m³ (Choi et al., 2017), 극동산 뱀장어(5-15 g)는 1.1-1.8 kg/m³ (MOF, 2000), 돌돔(28 g)은 5 kg/m³ (Kim, 2011), 조피볼락(44-60 g)은 4.5-6 kg/m³ (Oh et al., 2013), Atlantic salmon (71 g)은 86 kg/m³ (Hosfeld et al., 2009), 무지개송어(180 g)는 80 kg/m³ (North et al., 2006), Atlantic cod (832 g)는 30 kg/m³ (Lambert and Dutil, 2001), red tilapia (75g)는 7.5 kg/m³ (Suresh and Kwei, 1992)으로 보고되고 있다.

본 연구에서 추정된 쏘가리의 적정 사육밀도 3-4.5 kg/m³는 육식성이고, 온수성어류인 돌돔의 5 kg/m³ (Kim, 2011), 필리핀 뱀장어의 1.4-3 kg/m³ (Choi et al., 2017), 극동산 뱀장어의 1.1-1.8 kg/m³ (MOF, 2000), 황점볼락의 3 kg/m³ (Yoon et al., 2007)의 사육밀도와 비슷한 결과를 나타내었으며, 냉수성어류(30-86 kg/m³)와는 차이를 나타내었다. 냉수성어류는 보통 유수식으로 사육하기 때문에 높은 환수율로 깨끗한 수질과 높은 용존산소량을 유지하여 키우기 때문에 수용밀도를 높게 하여

Table 5. Daily feed intake (DFI), daily protein intake (DPI) and protein efficiency ratio (PER) of 2-year old mandarin fish *Siniperca scherzeri* fed experiment diet for 15 weeks¹

Stoking density (kg/m ³)	DFI (%) ²	DPI (%) ³	PER (%) ⁴
1.5	0.66±0.04 ^a	0.35±0.02 ^a	3.26±0.13 ^c
3	0.91±0.01 ^b	0.49±0.01 ^b	2.52±0.01 ^b
4.5	1.10±0.01 ^c	0.59±0.01 ^c	2.17±0.01 ^a
6	0.98±0.02 ^b	0.53±0.01 ^b	2.37±0.06 ^{ab}

¹Values (mean±SE of replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). ²Daily feed intake=feed intake×100 / [(initial fish wt.+ final fish wt.+dead fish wt.)×days reared / 2]. ³Daily protein intake=protein intake×100 / [(initial fish wt.+final fish wt.+dead fish wt.)×days reared / 2]. ⁴Protein efficiency ratio=wet weight gain / protein intake.

Table 6. Whole body proximate composition of 1-year old mandarin fish *Siniperca scherzeri* fed experiment diet for 10 weeks

Stoking density (kg/m ³)	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Ash (%)
1	73.3±0.19 ^{ns}	19.0±0.01 ^{ns}	3.84±0.96 ^{ns}	5.11±0.02 ^b
2	74.3±1.59	17.5±0.18	3.31±1.21	4.52±0.02 ^a
3	72.8±0.97	17.7±1.02	3.77±0.21	5.37±0.13 ^b
4	73.1±0.75	18.4±0.20	3.26±0.52	5.19±0.13 ^b

¹Values (mean±SE of replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). ^{ns} Not significant (P>0.05).

사육할 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

쏘가리 1년생(50.2 g)의 고밀도 실험구(4 kg/m³)와 2년생(173.1 g)의 고밀도 실험구(6 kg/m³)에서 성장과 사료섭취율이 유의하게 낮아지는 결과를 나타내었다. 일반적으로 고밀도 양식에서 어류들간에 계층화가 생겨 우점화되고 성장이 양호한 개체와 성장이 처지는 개체가 많이 생긴다고 보고되었는데, 이렇게 성장이 처진 개체는 먹이에 대한 접근성이 떨어져 사료 섭취 감소와 더불어 성장이 저하되는 것으로 판단된다(Wedemeyer, 1996; Paspatis et al., 1999; Rowland et al., 2006). 본 실험결과에서도 쏘가리 1년생(50.2 g)의 고밀도 실험구(4 kg/

m³)와 2년생(173.1 g)의 고밀도 실험구에서 일일사료섭취율의 감소와 성장저하를 나타내어 이전의 결과와 유사한 경향을 보였다.

10주간의 사육실험 종료 후 1년생 소형 쏘가리의 전어체 일반 성분 분석 결과를 Table 6에 나타내었다. 밀도에 따른 실험에서 수분, 단백질과 지질 함량은 모든 실험구간에서 유의차가 없었다(P>0.05). 회분함량은 2 kg/m³ 실험구가 다른 실험구보다 유의하게 낮은 결과를 나타내었다(P<0.05).

15주간의 사육실험 종료 후 2년생 대형 쏘가리의 전어체 일반 성분 분석 결과를 Table 7에 나타내었다. 밀도에 따른 실험

Table 7. Whole body proximate composition of 2-year large mandarin fish *Siniperca scherzeri* fed experiment diet for 15 weeks¹

Stoking density (kg/m ³)	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Ash (%)
1.5	77.2±0.10 ^{ns}	15.6±0.36 ^a	0.66±0.01 ^{ns}	1.73±0.09 ^{ns}
3	76.5±0.23	17.2±1.78 ^{ab}	0.92±0.20	1.49±0.26
4.5	76.6±0.25	17.5±1.77 ^{ab}	1.12±0.16	1.59±0.16
6	76.8±0.95	21.4±0.71 ^b	1.02±0.07	1.56±0.04

¹Values (mean±SE of replicate groups) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). ^{ns} Not significant (P>0.05).

Table 8. Plasma chemical composition of 1-year old mandarin fish *Siniperca scherzeri* fed experiment diet for 10 weeks¹

	Stoking density (kg/m ³)			
	1	2	3	4
TP (g/dl) ²	4.9±0.20 ^{ns}	4.5±0.20	4.1±0.30	4.1±0.01
Cholesterol (mg/dl), TCHO ³	407.0±4.0 ^{ns}	365±35.0	335±30.0	317±2.0
GOT (U/L) ⁴	33.5±3.50 ^{ns}	64.0±4.00	45.5±15.5	57.5±24.5
GPT (U/L) ⁵	6.0±1.00 ^{ns}	6.5±0.50	7.0±1.00	6.0±0.01
ALP (U/L) ⁶	358.5±37.5 ^{ns}	344.5±36.5	257.0±33.0	169.5±15.5
Bilirubin (mg/dl)	0.15±0.05 ^{ns}	0.15±0.05	0.50±0.10	0.50±0.10
Albumin (g/dl)	0.8±0.10 ^{ns}	0.7±0.01	0.7±0.01	0.7±0.01

¹Values are mean±SE of replicate groups. ²TP, Total protein. ³TCHO, Total cholesterol. ⁴GOT, Glutamic oxaloacetic transaminase. ⁵GPT, Glutamic pyruvic transaminase. ⁶ALP, Alkaline phosphatase. ^{ns}Not significant (P>0.05).

Table 9. Plasma chemical composition of 2-year old mandarin fish *Siniperca scherzeri* fed experiment diet for 15 weeks¹

	Stoking density (kg/m ³)			
	1.5	3	4.5	6
TP (g/dl) ²	3.8±0.01 ^{ns}	3.7±0.01	3.7±0.15	3.7±0.01
Cholesterol (mg/dl), TCHO ³	243.5±1.50 ^{ns}	251.5±7.5	240.0±9.0	234.5±16.5
GOT (U/L) ⁴	18.5±4.5 ^{ns}	21.0±1.00	24.5±3.50	38.5±12.50
GPT (U/L) ⁵	4.5±0.50 ^{ns}	4.0±0.01	4.0±0.01	5.0±0.01
ALP (U/L) ⁶	215.0±23.0 ^{ns}	280.0±79.0	297.5±12.5	282.5±14.5
Triglyceride (mg/dl)	500±0.01 ^{ns}	473±27.0	500±0.01	500±0.01
Bilirubin (mg/dl)	0.30±0.10 ^{ns}	0.15±0.05	0.25±0.05	0.25±0.15
Albumin (g/dl)	0.65±0.05 ^{ns}	0.60±0.01	0.60±0.01	0.60±0.01

¹Values are mean±SE of replicate groups. ²TP, Total protein. ³TCHO, Total cholesterol. ⁴GOT, Glutamic oxaloacetic transaminase. ⁵GPT, Glutamic pyruvic transaminase. ⁶ALP, Alkaline phosphatase. ^{ns}Not significant (P>0.05).

에서 수분, 지질과 회분함량은 모든 실험구간에서 유의차가 없었다($P>0.05$). 그러나, 전어체의 단백질 함량은 6 kg/m^3 실험구가 1.5 kg/m^3 실험구보다 유의하게 높은 결과를 나타내었다 ($P<0.05$). 이와 같이 고밀도 실험구에서 전어체의 단백질 함량 증가는 사료 섭취 저하에 따른 체내 에너지 축적이 감소되어, 상대적으로 단백질 조성비가 증가된 결과로 추측된다.

실험종료 후 1년생 소형쏘가리와 2년생 대형쏘가리의 미부 혈관에서 채혈한 혈장의 정상 변화를 Table 8와 Table 9에 나타내었다. 두 실험 모두에서 total protein, total cholesterol, GOT, GPT, ALP, bilirubin 및 albumin 함량은 실험구간에 유의차가 나타나지 않았다($P>0.05$).

GOT와 GPT 같은 혈중 transaminase의 측정은 어류의 간과 신장의 조직학적인 손상을 판단하는 지표로서 사용되었는데 (Kristofferson et al., 1974), 본 연구에서 쏘가리 2년생의 사육 밀도가 증가함에 따라 성장이 증가하다가 감소현상이 일어나는 고밀도 실험구(6 kg/m^3)의 GOT의 결과가 유의차는 없었지만 높은 값을 나타내어 고밀도 사육에 따른 대사 저하 등의 부작용이 초래될 가능성을 암시하고 있어, 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과로부터, 쏘가리 1년생 소형어(50.2 g)을 대상으로한 적정 사육밀도는 3 kg/m^3 였으며, 쏘가리 2년생 대형어 (173.1 g)을 대상으로한 적정 사육밀도는 4.5 kg/m^3 로 나타났다. 이러한 결과는 쏘가리 양식현장에 종사하는 양어가들에게 유용한 정보가 될 것으로 전망된다.

사 사

이 연구는 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원에서 지원하는 수산실용화기술개발사업(쏘가리 배합사료 및 순치기술 개발)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

Ahmad TA, El-Zahar C and Wuan TO. 1999. Nursing and production of the grouper *Epinephelus coioides* at different stocking densities in tanks and sea cages. *Asian Fish Sci* 12, 267-276.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, U.S.A.

Brett JR. 1979. Environmental factor and growth. In: Fish physiology, Vol. VIII, Hoar, WS Randall DJ and Brett JR, eds. Academic Press, New York, U.S.A., 599-625.

Brown GE, Brown JA and Srivastava RK. 1992. The effect of stocking density on the behavior of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). *J Fish Biol* 42, 955-963.

Brown ME. 1957. Experimental studies on growth. In: M.E. Brown (Ed.). *The Physiology of Fishes*. Academic Press, New York, U.S.A., 361-400.

Bjornsson B. 1994. Effects of stocking density on growth rate of halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared in large circular tanks for three years. *Aquaculture* 123, 259-270. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90064-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90064-7).

Boyce DL, Purchase CF, Puvanendran V and Brown JA. 1998. Designing rearing environments for on-growing of juvenile yellowtail flounder (*Pleuronectes ferrugineus*). *Bull Aquacult Ass Can* 2, 23-24.

Choi HS, Kim HG, Lee JH, Kim BR and Lee YS. 2017. Effects of water temperature, stocking density and size variation on growth of Philippines eel (*Anguilla bicolor pacifica*) at intensive pond culture system. *J Fish Mar Sci Educ* 29, 1013-1020.

Choi YU, Park HS and OH SY. 2011. Effects of stocking density and feeding frequency on the growth of the pacific cod, *Gadus macrocephalus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 58-63.

Cruz EM and Ridha M. 1991. Production of the tilapia *Oreochromis spirulus* Gunther stocked at different densities in sea cages. *Aquaculture* 99, 95-103. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90290-n](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90290-n).

Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42. <https://doi.org/10.2307/3001478>.

Fairchild EA and Howell WH. 2001. Optimal stocking density for juvenile winter flounder *Pseudopleuronectes americanus*. *J World Aquacult Soc* 32, 300-308. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2001.tb00453.x>

Hargreaves JA, Rakocy JE and Bailey DS. 1991. Effects of diffused air and stocking density on growth, feed conversion and production of Florida red tilapia in cages. *J World Aquacult Soc* 22, 24-29. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1991.tb00712.x>.

Hosfeld CD, Hammer J, Handeland S, Fivelstad S and Stefansson S. 2009. Effects of fish density on growth and smoltification in intensive production of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 294, 236-241. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.06.003>.

Hwang HK, Son MH, Myeong JI, Kim CW and Min BH. 2014. Effects of stocking density on the cage culture of Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture* 434, 303-306. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.08.016>.

Irwin S, Halloran JO and Fitzgerald RD. 1999. Stocking density, growth and growth variation in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus*. *Aquaculture* 178, 1-2. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00122-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00122-2).

Kim PK. 2011. Effects of stocking density and dissolved oxygen concentration on the growth and hematology of the parrotfish, *Oplegnathus fasciatus* in a recirculating aquaculture system. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 747-752. <https://doi.org/10.5657/kfas.2011.0747>.

Kim YO. 2015. The study aquaculture of *Siniperca scherzeri*. The research report of Chungcheongbuk-do Inland Fisheries Research Institute, Munwa Press, Chungju, Korea, 7-15.

- Kim YO and Lee SM. 2016. Growth of water temperature on growth and body composition of juvenile mandarin fish, *Siniperca scherzeri*. Korean J Fish Aquat Sci 49, 607-611. <https://doi.org/10.5657/kfas.2016.0607>.
- Kim YO and Lee SM. 2017. Effect of 1-year and 2-year old mandarin fish, *Siniperca scherzeri* fed the diets containing different fish meal levels. J Fish Mar Sci Educ 29, 1054-1062.
- Kim JD, Jung JY and Lee CH. 1988. Study on the egg taking and hatching of *Siniperca scherzeri* Steindachner. Bull Nat'l Fish Res Dev Agency Korea 42, 81-85.
- Kincaid HI, Bridges WR, Thames AE and Donahoo MJ. 1976. Rearing capacity of circular containers of different sizes for fry and fingerling rainbow trout. Progressive Fish-Culturist 38, 11-17. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1976\)38\[11:rcocco\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1976)38[11:rcocco]2.0.co;2).
- King N, Howell WH and Fairchild E. 1998. The effect of stocking density on the growth of juvenile summer flounder *Paralichthys dentatus*. In: Proceedings of the twenty-sixth U.S. Japan Aquaculture Symposium. Howell WH, Keller BJ, Park PK, McVey JP, Takayanagi K and Uekita Y, eds. Durham Press, New Hampshire, U.S.A., 173-180.
- Kristofferson R, Broberg S, Oskari A and Pekkarinen M. 1974. Effect of a sublethal concentration of phenol on some blood plasma enzyme activities in the pike (*Esox lucius* L.) in brackish water. Ann Zool Fennici 11, 220-223. <https://doi.org/10.1007/bf00677929>.
- Lambert Y and Dutil J. 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua*) reared under different condition of stocking density, feeding frequency and size-grading. Aquaculture 192, 233-247. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00448-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00448-8).
- Lee JK, Kim SC and Lee SM. 1996. Influence of stocking density on growth, feed efficiency and body composition of juvenile fat cod (*Hexagrammos otakii* Jordan et Starks) in indoor culture system. J Aquac 9, 233-237. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00564.x>.
- McClain WR. 1995. Growth of crawfish *Procambarus clarkii* as a function of density and food resources. J World Aquacul Soc 26, 24-28. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1995.tb00205.x>.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2000. A study on the aquaculture of European and American eel, Ministry of Oceans and Fisheries Report, Seoul, Korea, 113.
- Morrissy NM. 1992. Density-dependent pond growout of single year-class cohorts of a freshwater crayfish *Cherax tenuimanus* to two years of age. J World Aquacul Soc 23, 154-168. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1992.tb00764.x>.
- North BP, Turnbull JF, Ellis T, Porter MJ, Migaud H, Bron J and Bromage NR. 2006. The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 255, 466-479. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.01.004>.
- Oh DH, Song JW, Kim MG, Lee BJ, Kim KW, Han HS and Lee KJ. 2013. Effect of food particle size, stocking density and feeding frequency on the growth performance of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Korean J Fish Aquat Sci 45, 407-412.
- Paspatis M, Batarias C, Tiangos P and Kentouri M. 1999. Feeding and growth in response of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) reared by four feeding methods. Aquaculture 175, 293-305. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00104-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00104-0).
- Refstie T. 1977. Effects of density on growth and survival of rainbow trout. Aquaculture 11, 329-334. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(77\)90082-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(77)90082-5).
- Rowland SJ, Mifsud C, Nixon M and Boyd P. 2006. Effects of stocking density on the performance of the Australian freshwater silver perch (*Bidyanus bidyanus*) in cages. Aquaculture 253, 301-308. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.049>.
- Suresh AV and Kwei LC. 1992. Effects of stocking density on water quality and production of red tilapia in a recirculated water system. Aquac Eng 11, 1-22. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(92\)90017-r](https://doi.org/10.1016/0144-8609(92)90017-r).
- Wallat GK, Tiy LG, Rapp JD and Moore R. 2004. Effect of stocking density on growth, yield and costs of producing rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, in cages. J Appl Aquacult 15, 73-82. https://doi.org/10.1300/j028v15n03_06.
- Watanabe WO, Clark JH, Dunham JB, Wicklund RI and Olla BJ. 1990. Production of fingerling Florida red tilapia (*Tilapia hornorum* x *T. mossambica*) in floating marine cages. Progress. Ish Cult 52, 158-161. [https://doi.org/10.1577/1548-8640\(1990\)052%3C0158:POFFRT%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8640(1990)052%3C0158:POFFRT%3E2.3.CO;2).
- Webb KA, Hitzfelder GM, Faulk CK and Holt GJ. 2007. Growth of juvenile cobia, *Rachycentron canadum*, at three different densities in a recirculating aquaculture system. Aquaculture 264, 223-227. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.12.029>.
- Wedemeyer GA. 1996. Physiology of Fish in Intensive Culture Systems. Chapman and Hall, New York, U.S.A., 232. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6011-1_1.
- Yi Y and Kwei Lin C. 2001. Effects of biomass of caged Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and aeration on the growth and yields in an integrated cage-cum-pond system. Aquaculture 195, 253-267. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00558-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00558-5).
- Yi Y, Kwei Lin C and Diana JS. 1996. Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) stocking density in cages on their growth and yield in cages and in ponds containing the cages. Aquaculture 146, 205-215. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01377-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01377-4).
- Yoon SJ, Kim DH, Hwang HG, Song GC and Kim YC. 2007. Effects of water temperature, Stocking density and feeding frequency on survival and growth in the oblong rockfish *Se-*

bastes oblongus larvae. Korean J Ichthyol 19, 154-159.

Zohreh S, Sanaz K, Kim YO and Lee SM. 2017. Effect of dietary protein and lipid level on growth, feed utilization and muscle composition in golden mandarin fish, *Siniperca scherzeri*. Fish Aqu Sci, 20:7. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0053-0>.