

우리나라에서 생산한 바리류(Subfamily Epinephelinae) 교잡 수정란의 부화력: 상업적으로 유용한 교배조합 선택을 위한 총설

노충환*

한국해양과학기술원 해양생물자원연구단

Hatchability of Fertilized Eggs from Grouper (Subfamily Epinephelinae) Hybrids in Korea: A Mini Review for Selection of Commercially Promising Cross Combinations

Choong Hwan Noh*

Marine Bio Resources Research Unit, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Korea

We evaluated the hatchability of fertilized eggs from six hybrid combinations of highly valued grouper species inhabiting temperate and warm waters, with the goal of establishing a novel hybrid with enhanced growth and viability during the culturing period in the temperate waters of Korea. Hybrid combinations with red-spotted grouper females exhibited high hatchability with high a fertilization and hatching rate of fertilized eggs and a low deformity rate of hatched larvae. Conversely, hybrid combinations with kelp grouper females had very low hatching rates and very high deformity rates; commercial production of seed from such crosses would be difficult without improving hatchability. The hatchabilities of convict grouper ♀×giant grouper ♂ and kelp grouper ♀×red-spotted grouper ♂ were lower than those of maternal purebreds, but these two hybrid combinations were expected to produce potentially large quantities of hatched larvae. In the above evaluation, promising hybrid combinations were identified for commercial production of seed. For these hybrids to contribute to the development of Korea's mariculture industry, mass production of fertilized eggs and seeds is necessary, along with the development of advanced rearing techniques, such as the identification of a suitable rearing temperature.

Keywords: Grouper hybrids, Temperate sea, Hatching rate, Deformity rate, Korean Mariculture

서 론

바리류(groupers, Subfamily Epinephelinae)는 대부분 경제 적 가치가 높고 아시아측 서태평양과 지중해의 양식산업에서 중요한 해산 어류 자원이며, 현재 양식하고 있거나 개발하고 있는 종은 *Epinephelus* 속에 36종, *Plectropomus* 속에 4종, *Cephalopholis* 속에 4종으로 매우 다양하다. 바리류의 전세계 연간 양식 생산량(155천톤)의 대부분을 중국, 대만 그리고 동남아시아가 차지하고 있으며(FAO, 2019; Rimmer and Glamuzina, 2019), 이들 국가에서는 바리류의 양식 대상종을 확대시키기 위해 순종뿐 아니라 교잡종 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

교잡은 교잡강세(hybrid vigor)를 통해 부모가 가진 경제적으로 유용한 형질을 자손에서 발현시킬 수 있는 어류의 유용한 육종기법이며, 메기류, 배스류 그리고 잉어류에서 유도된 후 상업 생산되고 있다(Bartley et al., 2001). 우리나라 바리과에는 12속 30종이 포함되고, 이 중에서 상업적으로 중요한 어종들은 바리아과에 속하는 3속, 약 15종이다(NIBR, 2019). 우리나라 어업 생산통계에는 능성어라는 단일 품목으로 집계되고 최근 10년간 연간 어획량은 44톤이다(MOF, 2019). 1980년대 중반부터 우리나라에서 해산어류 양식이 본격적으로 시작되었으며, 수정란과 종자의 대량생산 그리고 사육기술이 높은 수준에 도달해 있다. 그러나 우리나라의 바다 수온은 연 평균 18.4°C로 바

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 644. 3333 Fax: +82. 51. 955. 3981

E-mail address: chnoh@kiost.ac.kr



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.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0479>

Korean J Fish Aquat Sci 53(4), 479-485, August 2020

Received 8 July 2020; Revised 10 August 2020; Accepted 12 August 2020

저자 직위: 노충환(책임연구원)

리류를 많이 양식하는 열대·아열대 해역의 국가들에 비해 매우 낮으며, 뚜렷한 사계절로 인해 일 평균 최저 1.5°C (2월), 최고 28.9°C (8월)가 기록되고 있다(World Sea Temperature, 2020). 이러한 수온의 큰 차이는 해산어류의 성장에 적합한 수온이 유지되는 기간이 짧고, 수온 변화 시기에 질병으로 인한 사망률이 높아 해상가두리뿐 아니라 육상수조 시설에서 사육에 큰 어려움이 되고 있다. 육상수조 시설이 대부분인 제주도는 지하염수(연중 16°C 이상)를 열원으로 하는 히트 펌프를 이용하여 사육수의 수온을 높일 수 있으므로, 질병으로 인한 대량폐사 그리고 과잉생산으로 인한 가격폭락이 반복되고 있는 넙치를 대신할 수 있는 부가가치가 높은 바리류 양식이 필요하다.

이에 따라 전통적으로 어획량이 적고 고부가 어종인 자바리(kelp grouper 또는 longtooth grouper *Epinephelus bruneus*)와 붉바리(red-spotted grouper *E. akaara*)의 수정란과 종자 대량생산이 우리나라에서 성공된 후(Oh, 2006; Lee et al., 2020), 해상가두리와 육상수조에서 상업생산이 시도되었다. 그러나 자바리와 붉바리는 우리나라의 바다 수온에서 최소 상품 크기(각각 약 1 kg과 0.6 kg)까지 사육 기간이 약 3년이 소요되며, 이런 느린 성장은 양식 산업에서 크게 불리하다. 우리나라에서 2013년부터 정부에서 주도하는 Golden Seed Project (GSP)가 시작되었으며, 성장과 질병내성 향상을 위한 바리류의 교잡종 개발에 관한 연구가 수행되었다. 외국에서는 주로 열대·아열대성 바리류들 간 교잡이 유도되었으나, 우리나라와 같은 온대해역에 서식하는 바리류를 이용한 교잡유도에 관한 연구는 없었다.

이 논문에서 우리나라 해역에 서식하는 바리류의 몇가지 조합을 통해 생산한 교잡 수정란의 부화력에 대해 현재까지 수행했던 연구의 결과를 제시하였으며, 상업활용을 위한 측면에서 평가하였다.

외국의 바리류 교잡종

최초의 바리류 교잡은 banded grouper (*E. amblycephalus*) ♀ × 붉바리 ♂이며(Tseng and Chan, 1985), 이후 15여 가지 이상의 교잡유도가 있었다. 교잡에는 주로 아시아측 서태평양의 열대·아열대성 바리류가 사용되었으며, 미국 남부와 중미 그리고 지중해에 서식하는 바리류 몇 종이 사용되었다. 이들 중 10여 가지의 교잡종의 종자생산이 시도되었으나, 갈색점바리(brown-marbled grouper 또는 tiger grouper *E. fuscoguttatus*) ♀ × 대왕바리(giant grouper *E. lanceolatus*) ♂ 그리고 갈색점바리 ♀ × 꼬리큰점바리(camouflage grouper *E. polyphkadion*) ♂이 상업생산 되고 있다(Rimmer and Glamuzina, 2019). 말레이시아 사바대학(University Malaysia Sabah)의 보르네오 해양연구소(Borneo Marine Research Institute)의 연구팀이 처음으로 확립한 갈색점바리 ♀ × 대왕바리 ♂은 양식산업에서 가장 대표적인 교잡종이며(Shapawi et al., 2019), 최근에 월등히 개선된 성장과 질병 저항성이 실험으로 증명되었다(Bunlipatanon and U-taynapun, 2017). 그리고 최근 중국에서 붉바리

♀ × 대왕바리 ♂ 그리고 자바리 ♀ × 대왕바리 ♂의 종자가 생산되었다(Tian et al., 2015; Chen et al., 2018). 그 외에 지중해 바리류 간 유도된 goldblotch grouper (*E. costae*) ♀ × dusky grouper (*E. marginatus*) ♂ (Glamuzina et al., 2001)와 dusky grouper ♀ × white grouper (*E. aeneus*) ♂ (Glamuzina et al., 1999) 그리고 대서양의 바리류 간 유도된 coney (*Cephalopholis fulva*) ♀ × cleole-fish (*Paranthias furcifer*) ♂은 종자의 대량생산은 없이 수정란의 난 발생에 관한 연구만 수행되었다(Tucker, 1994). 외국에서 유도된 후 현재 상업생산되고 있는 바리류 교잡은 Rimmer and Glamuzina (2019)에 자세히 설명되어 있다.

우리나라에서 바리류 교잡 수정란의 부화력

GSP가 시작되기 전인 2011년 청솔수산(Muan, Korea)에서 붉바리 수정란과 종자의 대량생산 기술이 확립되었으며, 이 어종을 대상으로 교잡유도가 시작되었다. 붉바리는 맛이 뛰어나 뿐 아니라 붉은 체색에 주황색 또는 황금색 반점이 덮여 있어 한국뿐 아니라 중국과 대만 등에서 매우 고가에 거래되는 어종이다(Wang et al., 2016). 붉바리는 알과 난황흡수자어의 크기가 다른 바리류에 비해 작기 때문에(각각 평균 802.1 μm와 2.091 μm, Noh et al., 2019a), 종자생산을 위해 높은 수준의 기술이 필요하다. 이후 우리나라에 서식하는 자바리와 능성어(convict grouper 또는 sevenband grouper *Hyporthodus septemfasciatus*) 그리고 열대·아열대성인 대왕바리와 갈색점바리가 교잡에 사용되었다. 자바리는 육질이 뛰어나 우리나라에서 최고급 어종이며, 능성어는 해상가두리 사육에 적합하여 조피볼락에 대신할 수 있는 어종이다. 대왕바리와 갈색점바리는 빠른 성장과 종자 생산성 향상을 위해 교잡의 수컷 어종으로 사용되었다. 교잡유도의 목적형질은 공통적으로 성장과 질병내성 향상이며, 부가적으로 기호성 높은 체색, 맛 그리고 생존력 향상이다. 우리나라에서 모두 여섯가지 조합의 바리류 교잡 수정란이 생산되었다.

수정률과 부화율

붉바리 암컷을 이용한 교잡

붉바리 암컷은 대왕바리, 자바리 그리고 갈색점바리 수컷과 교잡하였다. 이 교잡들 중 붉바리 ♀ × 대왕바리 ♂의 수정률과 부화율이 가장 뛰어났다. 온대성인 붉바리와 달리 대왕바리는 열대·아열대성이므로 부화에 적절한 수온을 찾기 위해 22°C, 25°C 그리고 28°C에서 수정란을 배양하였다. 이 교잡의 수정률과 부화율은 25°C에서 가장 좋았으며, 붉바리 순종교배와 차이는 없었다(수정률 95.90% vs. 96.33%, 부화율 76.22% vs. 77.17%, Table 1). 22°C에서 이 교잡의 부화율은 높았으나 붉바리 순종교배는 매우 낮았으며(22.07% vs. 69.39%), 28°C에서는 다른 수온에 비해 낮았으나 붉바리 순종교배에 비해서는 높

았다(12.39% vs. 7.78%).

붉바리와 자바리는 모두 맛이 뛰어나며, 성장은 자바리가 더 빠르다. 그리고 두 바리 모두 우리나라 해역에 서식하므로, 이 교잡의 자손은 낮은 수온에서 생존력이 높을 것을 기대하고 유도하였다. 붉바리우 × 자바리송은 붉바리 순종교배에 비해 수정률은 낮았으나(89.61% vs. 96.51%, Table 1), 부화율은 차이가 없었다(75.23% vs. 77.46%). 그밖에 붉바리우 × 갈색점바리송의 교잡을 유도하였다. 이 교잡은 붉바리 순종교배에 비해 수정률은 낮았지만(76.70% vs. 90.90%, Table 1), 어류의 일반적인 수정률에 비해 낮지 않았다. 그러나 이 교잡의 가장 높은 부화율은 25°C에서 9.80%였으나, 다른 수온(22°C, 28°C 그리고 31°C)에서 붉바리 순종교배에 비해 매우 낮았다.

자바리 암컷을 이용한 교잡

자바리 암컷을 대왕바리와 붉바리 수컷과 교잡하였다. 자바리 우 × 대왕바리송은 맛과 빠른 성장을 기대하면서 유도하였다. 이 교잡은 여섯 차례의 시도에서 수정률은 자바리 순종교배 보다 조금 낮거나 비슷하였다(71.5-96.6% vs. 93.3-95.6%, Table 1). 그러나 이 교잡의 부화율은 24°C에서 가장 높았지만 자바리 순종교배 보다 매우 낮았다(24°C에서 11.90%, 14.60% vs. 21-27°C에서 21.00-86.00%, trial I과 II). 이 교잡의 부화율 향상을 위해 15-30°C 범위에서 수정란을 배양하였으나, 부화자어의 대량확보가 가능한 수준의 부화율을 얻지 못하였다.

자바리우 × 붉바리송은 상반교잡(reciprocal hybrid)인 붉바리우 × 자바리송과 같은 형질(맛, 체색, 그리고 빠른 성장)을

Table 1. Hatchability in fertilized eggs of grouper hybrids in Korea

Female	Male	Conditions	Hybrid			Maternal purebred			Remarks	
			Fertilization	Hatching	Deformity	Fertilization	Hatching	Deformity		
Giant grouper (<i>E. lanceolatus</i>)		22°C	95.90%	22.07%	2.61%	96.33%	69.39%	0.72%	Noh et al. (2019a, triplicates). Hatching rate 75.56% in Tian et al. (2015)	
		25°C		76.22%	3.36%		77.17%	1.58%		
		28°C		12.39%	3.82%		7.78%	1.33%		
Red-spotted grouper (<i>Epinephelus akaara</i>)	Kelp grouper* (<i>E. bruneus</i>)	23.07-23.40°C	89.61%	75.23%	7.11%	96.51%	77.46%	2.71%	Noh et al. (2020, triplicates) *same as long-tooth grouper (<i>E. moara</i>)	
		22°C	76.70%	0%	-	90.9%	20.1%	-		
		25°C		9.8%	-		36.3%	-		Noh et al. (2015, triplicates)
		28°C		5.5%	-		32.2%	-		
		31°C		2.0%	-		13.5%	-		
Kelp grouper	Giant grouper	trial I							GSP (2017) (duplicates, triplicates). Hatching rate 14.35% in Chen et al. (2018)	
		21°C	96.60%	5.40%	27.30%	93.30%	75.80%	0.00%		
		24°C		11.90%	52.80%		84.90%	9.90%		
		27°C		1.40%	40.00%		86.00%	6.70%		
		30°C		2.50%	50.00%		61.60%	23.30%		
		trial II								
		15°C	75.10%	0.00%	-	95.60%	0.00%	-		
		18°C		9.70%	99.40%	-	17.70%	9.70%		
		21°C		14.60%	98.00%	-	34.90%	14.60%		
		24°C		10.20%	100.00%	-	21.00%	10.20%		
27°C		0.50%	100.00%		26.70%	0.50%				
trial III										
		18°C	71.50%	39.20%	60.60%					
		21°C		25.30%	59.80%					
		24°C		14.60%	77.50%					

Table 1. Continued

Female	Male	Conditions	Hybrid			Maternal purebred			Remarks
			Fertilization	Hatching	Deformity	Fertilization	Hatching	Deformity	
Kelp grouper	Giant grouper	trial IV				-	-	-	
		18°C	90.60%	45.10%	98.20%				
		21°C		43.60%	55.30%	-	-	-	
		24°C		45.00%	74.10%	-	-	-	
		trial V				-	-	-	
		18°C	89.00%	66.10%	60.80%				
		21°C		86.60%	62.00%	-	-	-	
		24°C		45.10%	98.20%	-	-	-	
		trial VI				-	-	-	
		18°C	89.90%	66.60%	81.10%				
		21°C		78.70%	61.50%	-	-	-	
		24°C		82.40%	83.90%	-	-	-	
		22°C	67.00%	19.00%	-	64.00%	26.00%	-	
		25°C		20.00%	5.30%		34.00%	5.60%	Noh et al. (2020, triplicates)
28°C		19.00%	-		21.00%	-			
Convict grouper (<i>Hyporthodus septemfasciatus</i>)	Giant grouper	22.3-24.3°C	69.36%	58.99%	6.24%	93.82%	79.03%	2.19%	Noh et al. (2019b, triplicates)

기대하면서 유도하였다. 이 교잡의 수정률은 자바리 순종교배에 비해 높았으나(67.00% vs. 64.00%), 부화율은 다소 낮았다(19.00-20.00% vs. 21.00-34.00%).

능성어 암컷을 이용한 교잡

능성어우 × 대왕바리송은 능성어의 강한 생존력과 대왕바리의 빠른 성장을 기대하면서 유도하였다. 이 교잡의 수정률과 부화율은 능성어 순종교배에 비해 낮았으나(수정률 69.36% vs 93.82%, 부화율 58.99% vs. 79.03%, Table 1), 부화 자어의 대량생산이 가능한 수준이었다.

배(embryo) 발생 중 기형

교잡 수정란의 기형유형은 난 발생 중 비균등 난할(irregular cleavage)과 비대칭 배반엽(asymmetry blastoderm), 그리고 부화자어의 척추 휘어짐(curved spine) 그리고 짧은 꼬리(shortened tail)였고(Noh, 2020), 출현빈도는 모계 순종교배 보다 높았으나 교잡조합들 간 차이가 있었다.

붉바리우 × 대왕바리송의 부화자어 기형률은 배양수온에 따라 약간의 차이는 있었으나, 붉바리 순종교배와 다르지 않았다(2.61-3.82% vs. 0.72-1.58%, Table 1). 그리고 붉바리우 × 자바리송의 부화자어 기형률은 7.11%로서 붉바리 순종교배(2.71%)보다 높았다. 붉바리우 × 갈색점바리송은 부화자어 기

형률 조사는 이루어지지 않았지만 붉바리 순종교배에 비해 비균등 난할이 다소 많이 관찰되었다. 위의 세 교잡은 공통적으로 붉바리 암컷을 사용하였으며, 따라서 부화자어의 낮은 기형률은 이 어종의 종 특이성으로 간주할 수 있다.

능성어우 × 대왕바리송 역시 부화자어 기형률이 능성어 순종교배 보다는 높았지만(6.24% vs. 2.19%, Table 1), 정상 부화자어의 대량확보가 가능한 수준이었다. 이와 달리 자바리를 암컷으로 사용한 교잡의 부화자어 기형률은 높았다. 자바리우 × 대왕바리송의 부화자어 기형률은 수온에 따라 약간의 차이는 있었지만 자바리 순종교배에 비해 매우 높았다(27.30-100% vs. 0-23.3%, Table 1)였다. 이 교잡은 상업적으로 유망함에도 불구하고, 부화율이 매우 낮을 뿐 아니라 부화자어의 기형률이 매우 높았다. 여러 수온조건에서 그리고 친어집단을 달리하여 여러 차례 교잡을 유도했지만 부화율과 기형률을 향상시킬 수 없었다. 그리고 자바리우 × 붉바리송의 부화자어 기형률은 자바리 순종교배와 차이가 없었으며(5.30% vs. 5.60%), 정상 부화자어의 대량확보가 가능한 수준이었다. 그러나 이 교잡의 기형률은 상반교잡인 붉바리우 × 자바리송 보다 높으므로 상업적 가치는 상대적으로 낮은 것으로 판단한다.

부화 소요시간

붉바리우 × 대왕바리송 수정란의 부화 소요시간은 붉바리 순

종교배에 비해 다소 느렸지만 유의한 차이는 없었다(22°C에서 32시간 33분 vs. 32시간 13분, 25°C에서 27시간 55분 vs. 26시간 57분, 28°C에서 21시간 37분 vs. 21시간 02분). 그러나 붉바리우 × 자바리송 (31시간 12분 vs. 29시간 01분)과 능성어우 × 대왕바리송 (31시간 47분 vs. 29시간 54분)의 부화 소요시간은 각각 붉바리와 능성어 순종교배와 차이가 있었다. 따라서 바리류의 교잡 수정란의 부화 소요시간은 교잡에 사용한 암컷 어종에 따르며, 공통적으로 모계 순종교배에 비해 느린 경향을 보였다.

결론

이전 연구에서 바리류의 교잡과 모계 순종교배 수정란의 부화율 차이는 사용한 어종에 따라 달랐다. 붉바리우 × 대왕바리송은 중국에서도 유도하였으며, 부화율은 우리나라에서 유도한 교잡과 비슷하게 붉바리 순종교배에 비해 다소 낮았다(75.56% vs. 81.54%, Tian et al., 2015). Tain et al. (2015)의 연구에서 이 교잡의 부화자어 기형률은 14.35%로써 우리나라에서 유도한 같은 교잡조합의 기형률 보다 높았으며, 두 연구 간 약간의 차이는 난질 또는 부화조건에 의해서 발생한 것으로 판단한다. 이 교잡은 부화자어 기형률이 어류에서 일반적으로 관찰되는 10% 이하의 범위(Klump and Von, 1995)에서 크게 벗어나지 않았으며, 수정률과 부화율이 다른 바리류의 순종교배와 교잡뿐 아니라 다른 분류군 어류의 순종교배 보다 크게 낮지 않았다. 그리고 이 교잡의 부화력은 현재 상업적으로 가장 성공한 갈색점바리우 × 대왕바리송 (수정률 86.8%, 부화율 87.2%, Ch'ng and Senoo, 2008) 보다 높아서, 상업생산에 유망할 것으로 판단한다. 그리고 붉바리우 × 자바리송과 능성어우 × 대왕바리송은 외국에서는 유도되지 않아 비교할 수 없지만, 붉바리우 × 대왕바리송 보다는 부화력이 조금 낮았지만 종자 생산을 위한 부화자어의 대량확보가 가능한 것으로 판단한다.

중국에서 유도한 자바리우 × 대왕바리송의 수정률과 부화율은 자바리 순종교배에 비해 매우 낮았으며(14.35% vs. 93.60%, Chen et al., 2018), 우리나라의 같은 교잡조합과 비슷한 경향을 보였다. 그리고 이 교잡의 부화자어 기형률은 Chen et al. (2018)에서 85-90%로써 우리나라의 결과(52.8-100%)와 크게 다르지 않았다. 부화자어의 기형은 생산된 종자의 품질을 낮추므로 상업생산에서 매우 중요한 요인이다. 이 교잡의 상업적 중요성을 감안하여 우리나라에서 부화율과 기형률을 개선하기 위해 다양한 수은 그리고 친어집단을 달리하면서 수정란을 배양했지만, 좋은 결과를 얻지 못하였다.

외국의 다른 교잡의 경우, goldbloch grouper 우 × dusky grouper 송 역시 부화율(70% vs. 75%)과 부화자어의 기형률(22% vs. 20%)이 goldbloch grouper 순종교배와 다르지 않았다(Glamuzina et al., 2001). 그리고 갈색동근바리우 × 대왕바리송은 갈색동근바리 순종교배와 비슷하였으나(51.33% vs. 48.00%), 부화자어의 기형률은 크게 높았다(47.0% vs.

21.33%, Kiriyakit et al., 2011).

어류에 있어서 교잡 수정란의 부화 소요시간은 부모 어종의 중간이거나 어느 한쪽과 비슷하며, 드물게는 부모 어종보다 더 느리다고 알려져 있다(Chevassus, 1983). 외국의 연구에서 바리류 교잡 수정란의 부화 소요시간은 모계 순종교배에 비해 dusky grouper 우 × white grouper 송과 자바리우 × 대왕바리송에서는 각각 5시간과 1시간 더 짧았으며(Glamuzina et al., 1999; Chen et al., 2018), 갈색동근바리우 × 대왕바리송에서는 차이가 없는 것으로 보고되었다(Kiriyakit et al., 2011). 우리나라에서 유도한 교잡 수정란의 부화 소요시간이 공통적으로 모계 순종교배 보다 느리게 조사된 것은 발생란의 사망과 관련이 있을 수 있다. 수정란은 죽더라도 일정 시간 부상력을 가지는 특성 그리고 부화 소요시간을 수정란의 50%가 부화한 시간으로 구한 점을 감안하면, 현미경 관찰 시에 사망 직후의 발생란이 다수 포함되어 실제보다 느리게 조사되었을 가능성도 있다. 그러나 부화 소요시간이 약 1시간 더 소요되는 것은 정상 부화자어의 생산효율에 크게 영향을 미치는 않을 것으로 판단한다.

우리나라에서 유도한 교잡조합은 크게 우리나라와 열대·아열대 해역 서식 어종 간 교잡유형 그리고 우리나라 서식 어종 간 교잡유형으로 나눌 수 있으며, 각 교잡유형에서 붉바리 × 대왕바리송과 붉바리우 × 자바리송의 부화자어 생산효율이 가장 좋았다. 자바리우 × 대왕바리송은 앞의 두 교잡에 비해 성장이 빠르고 대만과 중국에서 선호도가 높을 것으로 예상되지만, 상업생산을 위해서는 낮은 부화력이 크게 개선되어야 한다.

교잡 자손은 빠른 성장을 위해 고수온에서 사육이 적합하다. 비록 자연에서 선호 서식수온이 붉바리, 자바리, 능성어와 대왕바리, 갈색점바리(평균 20.3-20.6°C vs. 27.0-28.1°C, Kashner et al., 2016) 간 차이가 크기 때문에 교잡 자손의 적정 사육수온은 교잡에 사용한 부모 어종 중 한쪽을 따를 수 있다. 그러나 붉바리와 자바리 순종의 사육 경험과 일반적인 바리류의 적정 사육수온(26.0-32.4°C, De et al., 2016; Bunlipatanon and Utaynapun, 2017; Lee and Baek, 2018)을 감안할 때, 우리나라에서 유도한 이들 교잡(우리나라 서식 어종 간 교잡 포함) 자손은 해상가두리에서 저수온 기간 동안 성장이 둔화될 뿐 아니라 생존율이 낮을 것으로 예상된다. 따라서 이들 교잡자손의 상업생산은 열대·아열대 해역에 적합하며, 우리나라에서는 자연해수 보다 약 7-10°C 높은 발전소 온배수, 연중 16°C가 유지되는 지하염수 그리고 연중 약 28°C가 유지되는 지하담수를 열원으로 이용할 수 있는 시설이 필요할 것으로 생각된다.

사사

이 논문은 농림축산식품부, 해양수산부, 농업진흥청, 산림청의 재원으로 농림식품기술기획평가원 Golden Seed Project 사업(213-008-05-4-SB420)과 한국해양과학기술원 주요사업(PE99822)의 지원을 받아 작성되었습니다. 실험과 분석을 지원한 청술수산 윤낙진 대표, 경남수산자원연구소 박대원 박사

그리고 한국해양과학기술원의 김근식 박사, 강민주 연구원 등에게 감사드립니다.

References

- Bartely DM, Rana K and Immink AJ. 2001. The use of inter-specific hybrids in aquaculture and fisheries. *Rev Fish Biol Fish* 10, 325-337. <https://doi.org/10.1023/A:1016691725361>.
- Bunlipatanon P and U-Taynapun K. 2017. Growth performance and disease resistance against *Vibrio vulnificus*, infection of novel hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus* × *Epinephelus fuscoguttatus*). *Aquac Res* 48, 1711-1723. <https://doi.org/10.1111/are.13008>.
- Chen ZF, Tian YS, Wang PF, Tang J, Liu JC, Ma WH, Li WS, Wang XM and Zhai JM. 2018. Embryonic and larval development of a hybrid between kelp grouper *Epinephelus moro* ♀ × giant grouper *E. lanceolatus* ♂ using cryopreserved sperm. *Aquac Res* 49, 1407-1413. <https://doi.org/10.1111/are.13591>.
- Ch'ng CL and Senoo S. 2008. Egg and larval development of a new hybrid grouper, tiger grouper *Epinephelus fuscoguttatus* × giant grouper *E. lanceolatus*. *Aquac Sci* 56, 505-512.
- Chevassus B. 1983. Hybridization in fish. *Aquaculture* 33, 245-262. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90405-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90405-2).
- De M, Ghaffar MA, Bakar Y and Das SK. 2016. Effect of temperature and diet on growth and gastric emptying time of the hybrid, *Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂. *Aquac Rep* 4, 118-124. <http://doi.org/10.1016/j.aqrep.2016.08.002>.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2019. Fisheries and aquaculture software. FishStatJ-software for fishery statistical time series. Retrieved from <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en> on Jun 29, 2020.
- Glamuzina B, Kožul V, Tutman P and Skaramuca B. 1999. Hybridization of Mediterranean groupers: *Epinephelus marginatus* ♀ × *E. aeneus* ♂ and early development. *Aquac Res* 30, 626-628.
- Glamuzina B, Glavić N, Skaramuca B, Kozul V and Tutman P. 2001. Early development of the hybrid *Epinephelus costae* ♀ × *E. marginatus* ♂. *Aquaculture* 198, 55-61. [http://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00511-1](http://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00511-1).
- GSP (Golden Seed Project). 2017. Development of golden seeds production techniques from the subtropical serranids fishes. Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong, Korea, 479-492.
- Kaschner K, Kesner-Reyes K, Garilao C, Rius-Barile J, Rees T and Froese R. 2016. AquaMaps: predicted range maps for aquatic species (version 08/2016). Retrieved from www.aquamaps.org on Jun 29, 2020.
- Kiryakit A, Gallardo WG and Bart AN. 2011. Successful hybridization of groupers (*Epinephelus coioides* × *Epinephelus lanceolatus*) using cryopreserved sperm. *Aquaculture* 320, 106-112. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.012>.
- Klumpp DW and Von Westernhagen H. 1995. Biological effects of pollutants in Australian tropical coastal waters: embryonic malformations and chromosomal aberrations in developing fish eggs. *Mar Pollut Bull* 30, 158-165. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)00124-R](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)00124-R).
- Lee JW and Baek HJ. 2018. Determination of optimal temperature(s) in juvenile red-spotted grouper *Epinephelus akaara* (Temminck & Schlegel) based on growth performance and stress responses. *Aquac Res* 49, 3228-3233. <https://doi.org/10.1111/are.13782>.
- Lee CH, Hur SW, Kim BH, Soyano K and Lee YD. 2020. Induced maturation and fertilized egg production of the red-spotted grouper, *Epinephelus akaara*, using adaptive physiology of photoperiod and water temperature. *Aquac Res* 51, 2081-2090. <http://doi.org/10.1111/are.14559>.
- MOF (Ministry of Ocean and Fisheries). 2019. The year book of fisheries and aquaculture. Retrieved from <http://www.mof.go.kr/statPortal> on Aug 10, 2020.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2019. National species list of Korea. Retrieved from <http://kbr.go.kr> on Aug 10, 2020.
- Noh CH, Kim KS, Myoung JG, Cho JK, Yun NJ, Lim HG and Bang IC. 2015. The hatchability of fertilized eggs of inter-specific hybrid between red spotted grouper *Epinephelus akaara* and brown-marbled grouper *E. fuscoguttatus*. *Korean J Ichthyol* 27, 16-20.
- Noh CH, Kang MJ and Yoon SJ. 2019a. Embryonic development and hatchability of red-spotted grouper *Epinephelus akaara* ♀ × giant grouper *E. lanceolatus* ♂ hybrid at three incubation temperatures. *Aquac Res* 50, 3477-3481. <https://doi.org/10.1111/are.14306>.
- Noh CH and Yoon NJ. 2019b. Embryonic development of fertilized eggs of convict grouper *Hyporthodus septemfasciatus* ♀ × giant grouper *Epinephelus lanceolatus* ♂. *Korean J Ichthyol* 31, 23-29.
- Noh CH. 2020. Data and statistical analysis of hatchability of reciprocal hybrids. Retrieved from <https://data.mendeley.com/drafts/pf53pxf6f> on Jun 29, 2020.
- Oh SR. 2006. Seed production of longtooth grouper, *Epinephelus bruneus* with induced sex reversal and maturation. Ph. D. Dissertation, Jeju National University, Jeju, Korea
- Rimmer MA and Glamuzina B. 2019. A review of grouper (Family Serranidae: Subfamily Epinephelinae) aquaculture from a sustainability science perspective. *Rev Aquac* 11, 58-87. <https://doi.org/10.1111/raq.12226>.
- Shapawi R, Abdullah FC, Senoo S and Mustafa S. 2019. Nutrition, growth and resilience of tiger grouper *Epinephelus fuscoguttatus* × giant grouper *Epinephelus lanceolatus* hybrid-a review. *Rev Aquac* 11, 1285-1296. <https://doi.org/10.1111/raq.12292>.
- Tian Y, Jiang J, Wang N, Qi W, Zhai J, Li B, Liang Y, Chen Y, Yang C and Chen S. 2015. Sperm of the giant grouper:

- cryopreservation, physiological and morphological analysis and application in hybridizations with red-spotted grouper. *J Reprod Develop* 61, 333-339. <https://doi.org/10.1262/jrd.2014-087>.
- Tseng WY and Chan KF. 1985. On the larval rearing of the white-spotted green grouper, *Epinephelus amblycephalus* (Bleeker), with a description of larval development. *J World Aquac Soc* 16, 114-126. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1985.tb00194.x>.
- Tucker JW. 1994. Spawning by captive serranid fishes: a review. *J World Aquac Soc* 25, 345-359.
- Wang J, Jiang Y, Li X, Han T, Yang Y, Hu S and Yang M. 2016. Dietary protein requirement of juvenile red spotted grouper *Epinephelus akaara*. *Aquaculture* 450, 289-294. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.08.007>.
- World Sea Temperature. 2020. Asia sea temperature. Retrieved from <https://www.seatemperature.org/asia/south-korea> on Jun 29, 2020.