Check for updates

JFMSE, 38(5), pp. 1050~1059, 2026.
수산해양교육연구, 제38권 제5호, 통권143호, 2026.
www.ksfme.or.kr
https://doi.org/10.13000/JFMSE.2026.10.38.5.1050

덕대 (*Pampus argenteus*)의 자연산란 및 인공채란 난의 형태학적 특성 및 난질 평가 인자 탐색

김정현 · †강희웅
국립수산과학원(연구사 · †연구관)

Comparative Analysis of Morphological Characteristics and Egg Quality Indicators between Naturally Spawning and Artificially Fertilized Eggs of Korean Pomfret (*Pampus argenteus*)

Jung-Hyun KIM · Hee Woong KANG†
National Institute of Fisheries Science(researcher · †senior researcher)

Abstract

Korean pomfret (*Pampus argenteus*) is a commercially important marine fish species with increasing potential for aquaculture. This study aimed to compare naturally spawned eggs with artificially fertilized eggs by evaluating morphological and biochemical indicators of egg quality. Naturally spawned eggs showed higher fertilization and hatching rates than artificially fertilized eggs. Fertilized eggs exhibited larger diameters than unfertilized eggs, while buoyant eggs contained higher levels of total lipids, DHA, and n-3 fatty acids compared to sinking eggs. Fatty acid analysis indicated that palmitic acid, oleic acid, and DHA were dominant components in both the ovarian tissues and eggs. These results suggest that egg diameter, oil globule diameter, buoyancy, and fatty acid composition can be used as practical indicators of egg quality and broodstock performance in Korean pomfret seed production.

Key words : *Pampus argenteus*, Korean pomfret, Egg quality, Fertilization, Fatty acid composition

I. 서 론

덕대(*Pampus argenteus*)는 전 세계적으로 상업적 가치가 높은 해산어류로, 인도양과 서태평양을 포함하여 동아시아 및 한반도 연안에 광범위하게 분포한다. 국내에서는 남·서해안의 연안 및 근해 해역에서 어획되며, 육질과 기호도가 우수하여 소비자 선호도가 높은 고급 수산물로 평가된다(Kim et al., 2005; Kim and Han, 1989). 우리나라 연안에서 어획되는 병어류는 형태적으로 병어, 덕대 등 유사한 종들이 혼재하는 경우가 많아 종 동정과 생물학적 특성 규명이 중요하며, 그중 덕대는 높은 시장성, 낮은 공격성, 고밀도 사육 가능성 등으로 향후 양식 대상종으로서 산업적 활용 가능성이 크다(Dadzie et al., 2000; Gupta et al., 2020; Qiao et al., 2025).

최근 병어류 학명은 형태적 특징 기술 등을 참고(Yin et al., 2019)하여 병어는 동일하게 *P. punctatissimus* (Kim and You, 2016)로 덕대는 *P. echinogaster*에서 *P. argenteus*로 재정립되어 사용

† Corresponding author : 041-675-3780, hwgang@korea.kr
※ 이 논문은 국립수산과학원 연구사업(R2026016)에 의해 연구되었음

되고 있다(Kim et al., 2019; Kang et al., 2021). 기존 국외 문헌에서 *P. argenteus*는 국내 병어로 볼 수 있다.

덕대는 고수온 조건에서 비교적 빠른 성장을 보이고 개체 간 공격성과 공식행동이 적어 대량 사육 체계 구축에 유리한 생물학적 특성을 가진다. 해외에서는 쿠웨이트, 중국, 방글라데시, 인도 및 일본 등을 중심으로 생식생태, 인공 종자생산, 초기생활사, 사육관리 및 양식 산업화 연구가 축적되어 왔다(Almatar et al., 2004; Al-Abdul-Elah et al., 2021; Akhter et al., 2020; Zhang et al., 2022). 그러나 국내에서는 기초 생태 및 일부 종자생산 연구가 진행되었을 뿐, 안정적인 수정란 확보, 자연산란 유도, 인공수정 방법 및 난질(egg quality) 평가를 통합한 종합적 연구는 아직 제한적이다 (Hwang and Han, 2026).

해산어류 종자생산에서 난질은 수정률, 부화율, 자어 생존율 및 초기 성장률을 결정하는 핵심 요인이며, 어미의 성숙도, 영양상태, 포획 및 운반 스트레스, 채란 방법, 정자의 활력, 수정 조건 등에 의해 복합적으로 영향을 받는다(Bromage et al., 1992; Brooks et al., 1997). 특히 수정란의 난경, 유구경, 부상능력 및 정상 배아 발달 여부는 현장에서 활용 가능한 형태학적 지표이며, DHA (docosahexaenoic acid), EPA (eicosapentaenoic acid), ARA (arachidonic acid) 및 n-3 계열 고도불포화지방산은 초기 배아 발달과 신경계 형성, 세포막 안정성, 부화 후 자어 생존에 중요한 생화학적 지표로 알려져 있다(Sargent et al., 1999; Izquierdo et al., 2001; Rainuzzo et al., 1997; Tocher, 2003; Lubzens et al., 2010).

특히 온수성 및 해산어류에서는 개별 필수지방산의 함량뿐 아니라 DHA/EPA, EPA/ARA 및 n-3/n-6 PUFA와 같은 상대적 비율이 난질과 초기 자어의 생리적 상태를 해석하는 데 중요하다. DHA는 신경계와 시각계 및 세포막 기능에, EPA와 ARA는 에이코사노이드 대사와 생식생리 및 스트레스 반응에 관여하므로 이들 지방산의 상대적 균형은 어미 영양과 배아 발달을 연결하는 유용한 지표가 될 수 있다(Sargent et al., 1999; Izquierdo et al., 2001; Tocher, 2003; Henrotte et al., 2010).

따라서 덕대의 안정적인 종자생산 기술을 확립하기 위해서는 자연산란과 인공채란한 수정란의 품질 차이를 객관적으로 평가할 필요가 있다. 본 연구에서는 자연산란 및 인공채란한 수정란의 수정률, 부화율, 형태적 특성 및 지방산 조성을 분석하였다. 이를 통해 덕대 우량 수정란 선별을 위한 형태학적·생화학적 평가 인자를 제시하고, 국내 덕대 양식산업화를 위한 종자생산의 기초자료를 제공하고자 하였다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 실험어 확보 및 채란

인공채란은 인천 강화군 인근 해역에서 연안자망으로 어획된 덕대 어미(전장 21.2~30.3 cm, 체중 124.1~417.3 g)를 대상으로 수행되었다. 채란은 성숙한 어미의 복부를 압박하여 알과 정액을 채취하여 수정시켰다. 자연산란은 경남 통영 정치망을 통해 어획된 어미(전장 17.5~23.4 cm, 체중 89.6~211.4 g)를 실내 원형 수조(Ø 2.5m)로 옮겨 순치하였으며 굴, 바지락, 곤쟁이 등을 공급하여 6개월 이상 사육하였다. 수정란은 야간에 산란한 난을 채란망을 설치하여 수거하였다.

2. 인공수정 및 부화율 조사

복부 압박으로 얻어진 알과 정액은 건식법(Dry method)으로 수정하였다. 알과 정액을 먼저 혼합한 후 깨끗한 해수로 3~4회 세란하였고 수정률 및 부화률 변화를 조사하였으며, 생산된 수정란은 광학현미경(BX50, Olympus, Japan)으로 형태학적 특성을 조사하였다(Bromage et al., 1992; Brooks et al., 1997).

3. 난질 평가 분석

채란방법별로 수정란과 미수정란의 난경 및 유구경을 측정하였으며, 빈도 분석을 통해 난경 분포를 조사하였다. 생화학적 난질 평가를 위해 난소 조직 및 난 상태(부상란, 침강란)에 따른 총아미노산 및 지방산 조성을 분석하였다. 지방산 분석에는 Supelco SP-2560 칼럼을 사용하였다. 난의 부상능력은 해산어류 종자생산 현장에서 정상 발달란과 비정상 발달란을 선별하는 실용적 지표이며, 지질 및 필수지방산 조성은 배아 발달과 자어 생존성을 설명하는 핵심 생화학 지표로 해석하였다(Sargent et al., 1999; Izquierdo et al., 2001; Tocher, 2003). DHA/EPA 및 EPA/ARA 비율은 Table 4의 각 지방산 조성(%)을 이용해 산출하였으며, n-3/n-6 PUFA 비율은 <Table 5>의 n-3 및 n-6 PUFA 조성을 이용하였다. ARA가 검출되지 않은 시료의 EPA/ARA는 비율을 산출하지 않고 ND로 표시하였다.

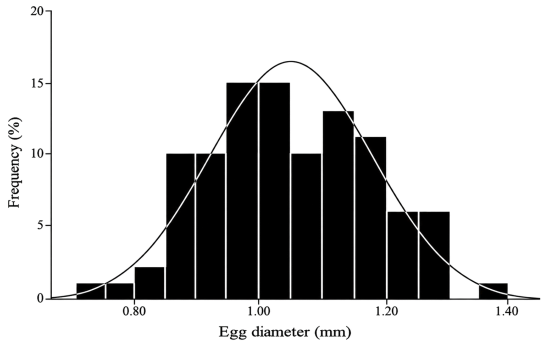
Ⅲ. 연구 결과

1. 수정란 생산

인공채란은 5~6월 인천시 강화군 연안 자망어선 선상에서 외관상 복부가 팽만한 어미를 골라 8회, 총 105,750개를 생산하였고, 평균 수정률은 78.2%, 평균 부화율은 25.6%였다. 5~6월 실내 사육중인 어미의 자연산란을 통한 수정란 생산은 총 8회, 96,750개였고, 평균 수정률은 88.5%, 평균 부화율은 48.2%였다(<Table 1>).

2. 인공채란 수정란과 미수정란의 크기 빈도 분석

인공채란한 수정란과 미수정란을 선별하여 실체현미경 하에서 수정란의 형태학적 특성을 조사하였다. 현미경 프로그램을 이용하여 난경과 유구의 크기를 측정한 결과 수정란은 평균 1.02±0.12 mm였고, 유구는 0.87±0.15 mm이었다. 미수정란의 난경은 0.87±0.10 mm, 유구 크기는 0.82±0.04mm로 난경 차이가 나타났다. 수정란 100개를 선별하여 빈도분석을 통해 난경 분포를 조사하였다. 수정란은 하위 20% 크기는 0.93 mm, 평균 크기인 1.02 mm는 하위 43%에 해당하고 1.2 mm 크기를 초과하는 수정란은 전체 13%를 나타냈다([Fig. 1]).



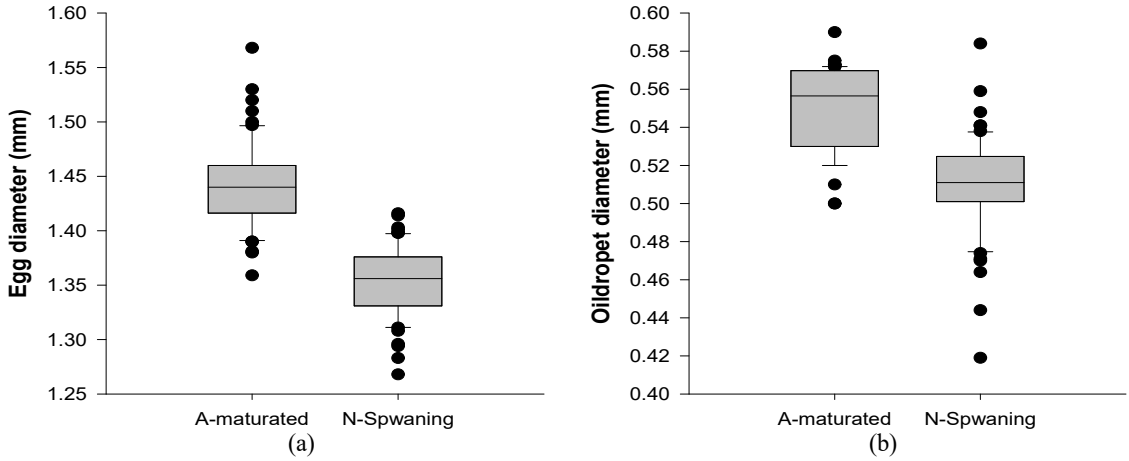
[Fig. 1] Frequency analysis of fertilized egg diameter through artificial egg collection of *Pampus argenteus*.

3. 자연산란 및 인공수정 수정란의 형태적 특성

인공채란한 수정란 난경과 유구의 크기는 각각 1.44±0.04 mm, 유구 0.55±0.02 mm, 자연산란한 난은 각각 난경 1.35±0.03 mm, 유구 0.51±0.03 mm로 크기 차이가 있었다([Fig. 2]). 자연산란된 수정란의 난경과 유구경은 시기별로 차이를 보이며 각각 1.3 mm 및 0.5 mm 이상을 유지하였고, 인공채란으로 얻은 수정란이 자연산란된 수정란보다 유의미하게 크게 나타났다.

4. 난소 및 난 상태별 성분 분석

우량 수정란의 평가 인자를 탐색하기 위해 덕대 산란기 전후로 조사한 생리화학적 특성 분석(총아미노산, 지방산) 결과는 다음과 같다.



[Fig. 2] Comparison of egg and oil droplet diameter between natural spawning and artificial fertilization.

<Table 1> Comparison of egg quality and fertilization and hatching between artificial fertilization and natural spawning of *Pampus argenteus*

			Egg collection		Floated egg			Fertilized egg			Hatching		
Type	Month	time	Volume (mL)	No. of eggs	Volume (mL)	No. of eggs	Rate (%)	Volume (mL)	No. of eggs	Rate (%)	Volume (mL)	No. of larvae	Rate (%)
Artificial	5	3	75	33,750	37.6	16,920	50.1	35.8	16,110	94.6	2	900	16.7
	6	5	160	72,000	47.4	21,330	49.8	40.9	18,405	61.7	21.5	9,675	34.5
	sum	8	235	105,750	42.5	38,250	49.9	76.7	34,515	78.2	23.5	10,575	25.6
Natural	5	6	170	76,500	158.5	71,197	89.9	138	62,100	82.9	79.2	35,631	51.1
	6	2	45	20,250	42.3	19,013	94.2	39.1	17,595	94.1	18	8,100	45.3
	sum	8	215	96,750	100.4	90,210	92.1	177.1	79,695	88.5	97.2	43,731	48.2

* Number of fertilized eggs per mL: 450, +: transplantation without measurement.

<Table 2> Comparison of total amino acid contents in ovary and eggs of *Pampus argenteus* (mg/100 g)

Tissue	Repli-cate	AS	TH	SE	G	PR	Gl	Al	Va	Is	LE	TY	P	HI	LY	AR	Total AA
Ovary	1	1,467.97	1,027.84	1,096.00	2,355.87	1,085.78	675.11	1,590.19	1,331.93	1,292.16	1,845.10	732.10	910.92	736.16	1,367.94	1,454.47	18,969.52±179.79
	2	848.61	506.13	590.68	1,365.89	589.62	427.25	841.98	733.54	652.57	1,005.23	353.68	492.76	422.83	928.72	739.94	10,499.42±176.78
	3	1,289.27	794.22	948.25	2,128.36	876.14	632.23	1,349.12	1,159.93	1,043.07	1,580.64	614.26	758.74	625.24	1,472.30	1,163.44	16,435.18±51.82
	4	1,453.99	900.29	1,044.24	2,221.16	984.73	681.96	1,398.38	1,230.74	1,161.17	1,722.76	666.46	830.15	685.82	1,624.54	1,285.58	17,891.97±15.98
Floating eggs		348.14	190.67	173.47	466.77	234.76	138.77	266.86	279.04	189.16	338.15	161.45	198.84	173.58	234.23	221.07	3,614.96±112.05
Sunken eggs		470.23	292.94	347.71	770.55	353.17	195.26	521.35	437.95	383.61	596.97	210.32	284.52	243.97	505.90	418.16	6,032.62±108.54

AS: Aspartic acid, TH: Threonine, SE: Serine, G: Glutamic acid, PR: Proline, GL: Glycine, AL: Alanine, VA: Valine, IS: Isoleucine, LE: Leucine, TY: Tyrosine, P: Phenylalanine, HI: Histidine, LY: Lysine, AR: Arginine

<Table 3> Comparison of lipid and fatty acid contents in ovary and eggs of *Pampus argenteus* (mg/100 g)

Tissue	Replicate	Total lipid	Saturated fatty acids	Monounsaturated fatty acids	Polyunsaturated fatty acids	Total	**w-3**	**w-6**	Unidentified (%)
Ovary	1	14,237.0	1,159.3	3,186.4	3,112.4	7,458.1	2,760.4	352.0	32.2
	2	7,049.0	1,524.5	1,623.9	1,257.9	4,406.3	1,109.9	148.0	28.0
	3	11,100.0	2,287.5	2,482.2	1,944.3	6,714.0	1,664.6	279.7	21.6
	4	12,772.4	2,265.9	1,905.9	825.3	4,997.2	743.7	81.6	14.4
Floating eggs		7,467.0	1,168.0	1,681.2	978.5	3,827.8	892.4	86.1	21.4
Sunken eggs		4,397.5	662.9	799.4	639.9	2,102.2	573.7	66.2	22.3

총아미노산은 난소, 부상란, 침강란에서 aspartic acid와 glutamic acid 함량이 각각 1089.36~1786.36 ㎎/100g, 1,365.89~2,772.15 ㎎/100g 로 가장 높게 나타났다. 또한 침강란은 6,032.62±108.54 ㎎/100g 으로 부상란 3,614.96±112.05 ㎎/100g 보다 166.9% 높게 나타났다(<Table 2>). 지방산 함량은 ω-3의 경우 난소에서 743.7 ~ 2,760.4 ㎎/100g 으로 가장 높았고, 부상란이 892.4 ㎎/100g. 침강란 573.7 ㎎/100g 순이었으며, 부상란이 침강란보다 155.6% 더 높은 수치를 나타냈다(<Table 3>).

5. 성숙단계 및 수정란 상태에 따른 지방산 조성 변화

난 성숙 단계 및 수정란의 상태(수정란, 부상란, 침강란)에 따른 지방산 조성을 분석한 결과, 모든 단계에서 포화지방산(SFA) 중에는 C16:0(Palmitic acid)이, 불포화지방산 중에는 C18:1n-9(Oleic acid)와 C22:6n-3(DHA)이 가장 높은 비중을 차지하는 주요 지방산으로 나타났다(<Table 4>). 난이 성숙함에 따라 총 포화지방산(SFA)은 8.56%에서 20.00%로 증가하였으며, 특히 주요 에너지원인 C16:0은 5.54%에서 15.00%로 약 3배 급증하였다. 고도불포화지방산인 DHA 역시 완숙란에서 16.82%로 가장 높게 나타났다.

수정란의 부상 여부에 따른 지방산 조성 분석 결과, 정상 발달 중인 부상란이 침강란보다 영양학적으로 우수한 상태임이 확인되었다(<Table 5>). 총 지방산 함량은 부상란(17.01%)이 침강란(15.73%) 보다 높았다. 특히 에너지원인 C16:0(palmitic acid)과 신경계 형성 및 세포막 안정성에 관여하는 DHA(C22:6n-3) 함량이 부상란에서 높게 나타났다.

6. DHA/EPA, EPA/ARA 및 n-3/n-6 PUFA 비율 비교

난의 성숙 및 발달 상태에 따른 지방산 조성을 바탕으로 DHA/EPA, EPA/ARA 및 n-3/n-6 PUFA 비율을 비교하였다. DHA/EPA 비율은 미성숙란 3.02에서 중간 성숙란 3.98로 증가하였고 완숙란에서는 7.00으로 가장 높았다. 수정 후에는 부상란 3.80, 침강란 3.92로 유사하였다. EPA/ARA 비율은 미성숙란 4.43, 중간 성숙란 3.51, 부상 수정란 3.33으로 나타났다. 완숙란과 침강란은 ARA가 검출되지 않아 EPA/ARA를 산출하지 않았다. n-3/n-6 PUFA 비율은 부상란 18.0, 침강란 19.1, 미수정란 27.2였다.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 덕대의 안정적인 인공 종자생산을 위한 수정란 생산 방법별 비교 및 난질 평가 인자를 종합적으로 검토하였다는 점에서 의의가 있다.

자연산란한 수정란이 인공채란한 수정란보다 높은 수정률과 부화율을 보인 결과는 어미의 최종 성숙 상태와 산란 스트레스 차이에서 기인한

<Table 4> Fatty acid composition of unfertilized and fertilized eggs of *Pampus argenteus* by maturation stage (%)

Fatty acids	Immature eggs (apricot-colored)	Mid-mature eggs (white)	Fully mature eggs (transparent)	Fertilized eggs (floating)	Fertilized eggs (sunken)
C14:0	1.31	1.68	0.00	2.04	1.69
C15:0	0.10	0.21	0.00	0.00	0.28
C16:0	5.54	7.89	15.00	12.24	8.15
C17:0	0.20	0.32	0.00	0.00	0.28
C18:0	1.21	1.58	5.00	2.72	1.97
C20:0	0.10	0.11	0.00	0.00	0.00
C22:0	0.10	0.21	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	3.37
Total Saturates	8.56	11.99	20.00	17.01	15.73
14:1n-5	0.10	0.11	0.00	0.00	0.00
C16-7	7.85	7.68	5.00	8.16	7.30
C17:1	0.60	0.84	0.00	0.00	0.00
C18:1n-9c	51.66	43.95	35.00	36.05	37.36
C22:1n-9	0.50	0.42	0.00	0.68	0.56
C24:1n-9	0.20	0.32	0.00	0.68	0.28
Total Monoenes	60.93	53.31	40.00	45.58	45.51
C18:2n-6c	1.01	0.95	0.00	0.68	1.12
C18:3n-6	0.20	0.32	0.00	0.00	0.00
C18:2n	1.71	1.47	0.00	1.36	1.69
C18:3n-3	0.50	0.42	0.00	0.68	0.56
C20:2n	0.30	0.32	0.00	0.00	0.28
C20:3n-6	0.10	0.11	0.00	0.00	0.28
C20:3n-3	0.20	0.11	0.00	0.00	0.28
C20:4n-6	1.41	1.68	0.00	2.04	0.00
C20:5n-3 (EPA)	6.24	5.89	5.00	6.80	7.02
C22:6n-3 (DHA)	18.83	23.45	35.00	25.85	27.53
Total PUFA	30.51	34.70	40.00	37.41	38.76
n-3 HUFA	25.08	29.34	40.00	32.65	34.55
n-6 HUFA	2.72	3.05	0.00	2.72	1.40
DHA/EPA	3.02	3.98	7.00	3.80	3.92

<Table 5> Fatty acid profiles of *Pampus argenteus* eggs according to developmental status

Sample	Total lipid (mg/100g)	Total lipid fatty acid ratio	∑Saturates (%)	∑Monoenes (%)	∑Polyenes (%)	n-3 PUFA (%)	n-6 PUFA (%)	n-3 /n-6 PUFA
Fertilized egg (floated)	7,928.7	1.9	12.9	51.4	35.7	33.8	1.9	18.0
Fertilized egg (sunken)	9,912.6	2.0	11.9	55.0	33.2	31.5	1.6	19.1
Unfertilized egg	4,568.1	2.0	14.2	47.2	38.5	37.2	1.4	27.2

<Table 6> Essential fatty acid ratios of *Pampus argenteus* eggs according to maturation and developmental status

Egg status	DHA/EPA	EPA/ARA	n-3/n-6 PUFA
Immature eggs	3.02	4.43	-
Mid-mature eggs	3.98	3.51	-
Fully mature eggs	7.00	ND*	-
Fertilized eggs (floating)	3.80	3.33	18.0
Fertilized eggs (sunken)	3.92	ND*	19.1
Unfertilized eggs	-	-	27.2

* ND: ratio not determined because ARA was not detected (0.00%) in the sample. DHA/EPA and EPA/ARA were calculated from Table 4; n-3/n-6 PUFA values were taken from Table 5.

것으로 해석된다. 자연산란한 수정란의 높은 부화율은 sea bass 및 gilthead seabream 연구 결과와도 일치하였다(Carrillo et al., 2000). 인공채란은 포획, 운반, 보관 및 복부 압박 과정에서 어미와 생식세포에 물리적 스트레스를 유발할 수 있으며, 난모세포가 완전히 성숙되지 않은 상태에서 채란될 경우 수정 후 배아 발달이 중단될 가능성이 높다. 반면 자연산란은 생식호르몬 분비와 최종 난 성숙이 정상적으로 진행된 상태에서 이루어지므로 수정란의 생리적 완성도가 높아질 수 있다.

수정란의 형태적 특성은 수정란이 미수정란보다 큰 난경을 보였고, 자연산란 및 인공채란 수정란 간에도 난경과 유구경의 차이가 나타났다. 인공채란한 수정란이 자연산란한 수정란보다 난경이 큰 것은 현장에서 채란용으로 확보한 어미 크기가 컸기 때문인 것으로 생각된다..

난경 증가는 수정 후 수분 흡수와 위란강 형성이 정상적으로 진행되었음을 반영하는 지표이며, 현장에서 신속하게 판별 가능한 난질 평가 항목으로 활용될 수 있다. 다만 난경과 유구경은 어종, 어미의 크기, 성숙 단계, 산란 시기 및 측정 시점에 따라 달라질 수 있으므로 단독 지표보다는 부상률, 수정률, 부화율 및 생화학적 조성과 함께 종합적으로 해석하는 것이 바람직하다.

지방산 조성 분석에서 부상란은 침강란보다 C16:0, DHA 및 n-3 계열 지방산의 비율이 높게 나타났다. 부상란에서 높은 DHA 및 EPA 함량이 확인된 것은 Rainuzzo et al.(1997), Koven et al. (2001), Tocher(2003)의 연구와 동일한 경향으로, 우량 수정란 선별을 위한 중요한 생화학적 지표로 활용 가능함을 시사하였다. C16:0은 초기 배아 발달 과정에서 에너지원으로 이용될 수 있으며, DHA는 세포막 안정성, 신경계 발달 및 정상적인 기관 형성에 중요한 역할을 하는 필수 지방산이다(Sargent et al., 1999; Izquierdo et al., 2001). 따라서 부상란에서 높은 DHA 및 n-3/n-6 비율이 유지된 것은 정상 발달을 지속할 수 있는 영양적 기반이 상대적으로 우수함을 의미한다.

본 연구 결과는 덕대 종자생산 현장에서 우량 수정란을 선별하기 위한 실용적 기준을 제시한다. 1차적으로는 수정란의 부상 여부, 난경, 유구경 및 정상 배아 발달 여부를 현미경으로 확인하고, 2차적으로는 DHA, EPA, C16:0 및 n-3/n-6 비율과 같은 생화학적 지표를 활용할 수 있다. 이러한 단계적 평가 체계는 대량 종자생산 과정에서 우량 수정란 판단하기 위해 좋지 않은 수정란을 조기에 제거하고 부화 효율과 자어 생산성을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

다만 본 연구는 자연산 덕대 어미 확보 시기와 지역, 어구, 개체 성숙도, 운반 조건이 완전히 동일하지 않았고, 수정 실험의 반복수 및 정자 활력 측정이 제한적이었다는 한계가 있다. 또한 지방산 조성은 난질의 중요한 지표이나, 실제 자어 생존율, 기형률 및 초기 성장률과의 직접 상관성에 대해서는 향후 추가적인 검정이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 따라서 후속 연구에서는 성숙 단계별 호르몬 변화, 정자 운동성, 난의 삼투

압 및 밀도, 어미의 영양상태, 산란 전 수온 및 광주기 조절, 초기 먹이생물 공급체계 등에 대한 통합적인 분석이 수행될 필요가 있다.

산업적 관점에서 덕대의 안정적인 종자생산은 자연산 어미후보군의 어획 의존도를 낮추고 고부가가치 해산어류 양식 품목을 확대하는 데 의미가 있다. 최근 덕대를 포함한 병어류 양식 연구는 생식생태, 인공수정, 자연산란, 초기 자어 사육, 영양 및 선발육종으로 확대되고 있으며, 특히 사육어미를 이용한 반복 산란과 우량 수정란 선별 기술이 제한 요인이 되고 있다(Gupta et al., 2020; Akhter et al., 2020; Al-Abdul-Elah et al., 2021; Zhang et al., 2022; Qiao et al., 2025). 본 연구 결과는 국내 환경에서 덕대 수정란 확보와 난질 평가를 동시에 검토했다는 점에서 종자생산 표준화의 기초자료로 활용될 수 있다.

생화학적 지표로는 DHA, EPA, ARA 및 n-3/n-6 비율이 중요하다. DHA는 자어의 신경계와 시각계 발달, 세포막 유동성 유지에 관여하며, EPA는 에이코사노이드 전구체 및 에너지 대사와 관련된다. ARA 역시 생식생리와 배아 발달에 필요하지만, DHA/EPA/ARA 비율이 불균형할 경우 산란 성적과 자어 생존능력이 저하될 수 있다(Sargent et al., 1999; Izquierdo et al., 2001; Tocher, 2003; Henrotte et al., 2010). 본 연구에서 부상란의 DHA와 총 지방산 함량이 침강란보다 높게 나타난 점은 우량 수정란이 배아 발달에 필요한 지질 에너지와 필수지방산을 더 충분히 보유했을 가능성을 보여준다. 향후 어미 사료에 n-3 고도불포화지방산 함량, 산란 전 영양 강화 기간, 비타민 E 및 항산화 영양소 공급 조건을 조절하면 수정란 품질과 부화 후 자어 생존율 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서 DHA/EPA 비율은 미성숙란 3.02, 중간 성숙란 3.98에서 완숙란 7.00으로 증가하여 최종 성숙 과정에서 DHA의 상대적 축적이 두드러졌다. 수정란에서는 부상란 3.80과 침강란 3.92로 큰 차이가 없었다. 그러나 부상란에서는 DHA 25.85%, EPA 6.80%, ARA 2.04%가 함께 검출되어 EPA/ARA가 3.33으로 산출된 반면, 침강란에서는 ARA가 검출되지 않았다. 이는 DHA/EPA 비율만으로 부상란과 침강란의 난질 차이를 설명하기 어렵고, EPA/ARA와 개별 지방산 조성을 함께 검토해야 한다고 판단된다.

n-3/n-6 PUFA 비율은 부상란 18.0, 침강란 19.1, 미수정란 27.2로 나타났다. 미수정란에서 가장 높은 비율이 관찰되었으므로 높은 n-3/n-6 비율 자체를 우수한 난질의 직접적인 기준으로 해석해서는 안 된다. n-6 PUFA 함량이 낮으면 n-3/n-6 값이 상대적으로 크게 증가할 수 있기 때문이다. 따라서 n-3/n-6 PUFA는 DHA, EPA, ARA의 개별 함량, 총 지질량, 수정률, 부화율 및 정상 배아 발달 여부와 함께 해석해야 한다고 판단된다.

자연산란한 수정란이 인공채란한 수정란보다 높은 수정률과 부화율을 보인 것은 어미의 최종 성숙 상태와 산란 행동의 완성도, 그리고 취급 조건의 차이에서 기인한 것으로 해석된다. 자연산란은 배란·방정 시점이 생리적으로 동일 조건 상태에서 이루어지므로 난과 정자의 성숙도가 일치할 가능성이 높다. 반대로 인공채란은 포획, 운반, 일시 보관 및 복부 압박 과정에서 스트레스가 누적될 수 있으며, 배란 후 시간이 경과한 과숙란이나 충분히 성숙하지 않은 난이 포함될 가능성이 있다. 이러한 결과는 쿠웨이트 및 중국에서 보고된 병어류의 산란·종자생산 연구와도 같은 방향성을 보이며, 국내 덕대 종자생산에서도 사육 어미의 자연산란 유도 체계가 핵심 기술이 될 수 있음을 시사한다(Almatar et al., 2004; Al-Abdul-Elah et al., 2021; Zhang et al., 2022; Hwang et al., 2026).

References

Al-Abdul-Elah K, Hossain MA, Al-Jazzaf S, Al-Humood H and Al-Matar S(2021). Recent advances in artificial breeding and larval rearing of

silver pomfret Pampus argenteus (Euphrasen, 1788) in Kuwait. Frontiers in Marine Science, 8, 709386. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.709386.

Akhter F, Islam MM, Islam MA and Zahangir MM(2020). Reproductive seasonality and the gonadal maturation of silver pomfret *Pampus argenteus* in the Bay of Bengal, Bangladesh. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 100(7), 1155~1161. https://doi.org/10.1017/S002531542000109X.

Almatar SM, Lone KP, Abu-Rezq TS and Yousef AA(2004). Spawning frequency, fecundity, egg weight and spawning type of silver pomfret, *Pampus argenteus* (Euphrasen) (Stromateidae), in Kuwait waters. Journal of Applied Ichthyology, 20, 176~188. https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2004.00547.x.

Bromage N, Jones J, Randall C, Thrush M, Davies B, Springate J, Duston J and Barker G(1992). Broodstock management, fecundity, egg quality and the timing of egg production in fish. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2, 123~180. https://doi.org/10.1007/BF00042880.

Brooks S, Tyler CR and Sumpter JP(1997). Egg quality in fish: what makes a good egg. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 7, 387~416. https://doi.org/10.1023/A:1018400116231.

Carrillo M, Zanuy S, Oyen F, Cerdá J, Navas JM and Ramos J(2000). Some criteria of the quality of the progeny as indicators of physiological broodstock fitness in fish. In: Recent Advances in Mediterranean Aquaculture Finfish Species Diversification. CIHEAM, Zaragoza, 61~73.

Dadzie S, Abou-Seedo F and Al-Shallal T(2000). Reproductive biology of the silver pomfret, *Pampus argenteus* (Euphrasen), in Kuwait waters. Journal of Applied Ichthyology, 16, 247~253. https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2000.00234.x.

Gupta S, Das S and Bhowmik S(2020). Reviews on the biology and culture of silver pomfret *Pampus argenteus* (Euphrasen, 1788). International Journal of Aquatic Biology, 8(4), 228~238. https://doi.org/10.22034/ijab.v8i4.843.

Henrotte E, Kpogue DNS, Mandiki SNM, Wang N, Melard C and Kestemont P(2010). Egg and larval quality, and egg fatty acid composition of Eurasian perch breeders Perca fluviatilis fed different dietary DHA/EPA/ARA ratios. Aquaculture Research, 41, 53~61.

Hwang IJ, and Han JC(2026). Preliminary study on broodstock management, inducing natural spawning and larval rearing of silver pomfret, *Pampus argenteus*. Fishes, 11, 250. https://doi.org/10.3390/fishes11040250.

Izquierdo MS, Fernandez-Palacios H and Tacon AGJ (2001). Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. Aquaculture, 197, 25~42. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00540-9.

Kang HW, Han JC, Jin YG, Lee KM and Jeong YM(2021). Morphometric characteristics between silver pomfret, *Pampus punctatissimus* and korean pomfret, *Pampus argenteus*. JFMSE, 33(4), 994~1002. https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.8.33.4.994.

Kim JK and You JH(2016). Distribution Map of Sea Fishes in Korea. Mapledesign, 667.

Kim JK, You JH, Kwon HJ, Ji HS, Park JH, Myeong SH, Song YS, Lee SJ, You HJ, Bae SW, Jang SH and Lee WJ(2019). Distribution Map of Sea Fishes in Korean Peninsula. Mapledesign, 541.

Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH(2005). Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo-Hak Publishing Co., Seoul, 615. (in Korean).

Kim YU and Han KH(1989). Studies on the fishery biology of pomfrets, *Pampus* spp. in the Korean waters. 1. Morphology of the two species of the genus Pampus. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 22(5), 241~265. https://doi.org/10.5657/kfas.1989.22.5.241.

Koven WM, Kolkovski S, Tandler A, Kissil GW and Sklan D(2001). The effect of dietary lecithin and lipids on the growth and survival of gilthead seabream *Sparus aurata* larvae. Aquaculture, 196, 1~13.

Lubzens E, Young G, Bobe J and Cerdà J(2010). Oogenesis in teleosts: how fish eggs are formed. General and Comparative Endocrinology, 165, 367~389. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.05.011.

Qiao G, Li B, Zhang Y, Wang L, Xu S and Peng S(2025). Silver pomfret (*Pampus argenteus*)

aquaculture: advances, bottlenecks, and future strategies. Animals, 15, 3347. https://doi.org/10.3390/ani15223347.

Rainuzzo JR, Reitan KI and Olsen Y(1997). The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. Aquaculture, 155, 103~115.

Sargent JR, Bell JG, McEvoy LA, Tocher DR and Estevez A(1999). Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. Aquaculture, 177, 191~199. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00083-6.

Tocher DR(2003). Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. Reviews in Fisheries Science, 11, 107~184. https://doi.org/10.1080/713610925.

Yin GX, Pan YL, Sarker A, Baki MA, Kim JK, Wu HL and Li CH(2019). Molecular systematics of Pampus (Perciformes: Stromateidae) based on thousands of nuclear loci using target-gene enrichment. Mol. Phylogenet. Evol 140: 106595. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.106595.

Zhang C, Jacques KJ, Zhang S, Xu S, Wang Y and Wang D(2022). Analyses of growth performance and realized heritability of *Pampus argenteus* in a breeding program in China. Frontiers in Marine Science, 9, 935924. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.935924.

• Received : 08 July, 2026
• Revised : 19 August, 2026
• Accepted : 27 August, 2026