

북방전복 *Haliotis discus hannai*의 부착생물 제거에 따른 생물학적 영향

신소령¹ · 김현진¹ · 황두진² · 신현출³ · 이정식^{1*}

¹전남대학교 수산생명의학과

²전남대학교 해양생산관리학과

³전남대학교 해양융합학과

Biological Effect with Remove the Attached Organisms of *Haliotis discus hannai*

So Ryung Shin¹, Hyeon Jin Kim¹, Doo-Jin Hwang², Hyun Chool Shin³, Jung Sick Lee^{1*}

¹Department of Aqualife Medicine, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

²Department of Marine Production Management, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

³Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

Corresponding Author

Jung Sick Lee

Department of Aqualife Medicine,

Chonnam National University, Yeosu

59626, Korea

E-mail : ljs@jnu.ac.kr

Received : November 15, 2022

Revised : November 25, 2022

Accepted : December 01, 2022

본 연구에서는 한국 남해안의 해상가두리에서 북방전복 *Haliotis discus hannai* 부착생물의 종류와 밀도에 관한 자료의 축적과 부착생물 제거에 따른 영향을 평가하고자 하였다. 해상가두리에서 북방전복의 부착생물은 굴, 태형동물, 따개비가 우점하였으며, 이들의 평균 부착생물 면적비는 약 57.5%였다. 성장률과 간체장의 건강도는 대조구에 비해 부착생물 제거구에서 좋은 결과를 보였다. 따라서 전복의 부착생물 제거는 개체의 성장과 출하 시 상품성 향상을 위해 필요한 것으로 판단된다.

In this study, data on the types and density of abalone attached organisms were provided in marine net cage of the southern coast. In addition, the effect of the removal of attached organisms was evaluated. In marine net cage, oysters, bryozoa, and barnacles were dominated among the attached organisms, and their average area ratio was about 57.5%. The growth rate and hepatopancreas condition were better in removal group of attached organisms than control group. Therefore, it is judged that the removal of attached organisms from abalone is necessary for the growth of individuals and improvement of value.

Keywords: Abalone(전복), Attached organisms(부착생물), Growth(성장), Hepatopancreas(간체장)

서론

세계의 전복 양식 생산량은 2007년 약 30,000톤에서 2020년 약 230,000톤으로 생산량이 8배 가량 증가하였으며, 2020년 전 세계 전복 양식 생산량 중 우리나라가 8.9%로 중국 다음으로 높은 비율을 차지해 전복 양식의 중요성이 대두되고 있다(FAO, 2022).

한국에서 전복 양식은 주로 해상가두리에서 수행되는데, 전복 양식산업의 문제점은 적조, 태풍, 고수온 등 환경적인 문제점과 노동집약적 산업으로 높은 인건비와 양식 비용을 요구한다(Son

et al., 2015a; Kim et al., 2018).

전복의 양식생산 과정은 종묘 생산, 치패 양성, 양성과 출하 및 가공의 4단계로 나눌 수 있다. 해상가두리에서 양성과정 중 전복의 패각에 굴, 따개비와 같은 부착생물과 이물질이 부착하는데, 이러한 부착생물은 양성과정에서 성장 저해와 출하 시 상품성을 감소시켜 전복 양식생산 과정에서 부착생물의 제거는 필수적이라 할 수 있다. 패각 부착생물의 제거는 과거에는 가위나 칼로 긁거나 또는 손으로 제거하여 많은 노동력과 시간이 필요하였으나, 최근에는 치핑기라는 부착생물 제거기구가 개발되어 작업자의 피

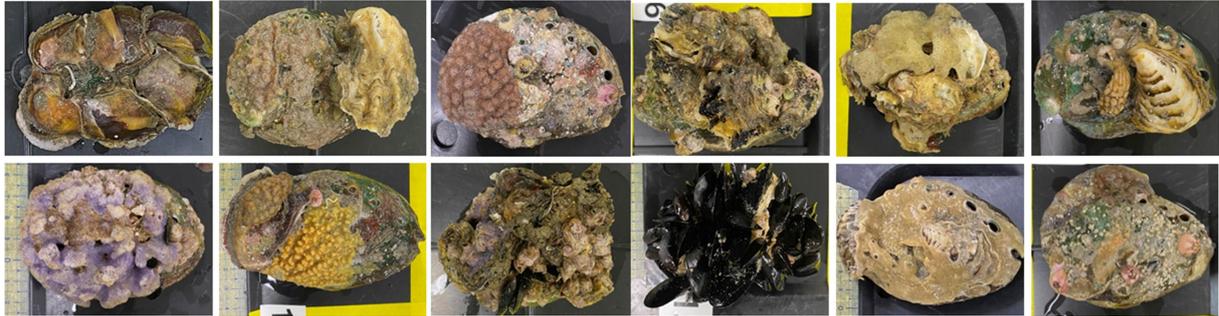


Fig. 1. The attached organisms of abalone, *Haliotis discus hannai*.

Table 1. Sampling area and morphometric characteristics of abalone, *Haliotis discus hannai*

Sample area (26)	Number	Shell length (cm)	Shell width (cm)
Sinji (3)	88	7.69±0.87	5.25±0.66
Geumil (3)	89	7.88±0.80	5.27±0.52
Geumdang (1)	30	9.22±1.08	6.06±0.86
Yaksan (3)	90	8.05±0.64	5.39±0.46
Wando (19)			
Cheongsan (3)	88	8.10±0.60	5.48±0.40
Bogil (3)	79	8.26±0.71	5.39±0.48
Soan (1)	53	8.75±0.75	5.73±0.54
Nohwa (2)	60	7.67±0.65	5.11±0.43
Total	577	8.09±0.85	5.40±0.58
Jindo (5)	150	7.13±0.46	4.72±0.38
Tongyeong (2)	60	8.21±0.55	5.58±0.38
Total / Mean	787	7.90±0.86	5.28±0.60

로감 저하, 상품가치 상승, 신속성, 안전성 등의 효과를 도모하고 있다. 부착생물의 종류와 부착밀도는 양식장 위치 등의 환경조건에 따라 다양하며(Park et al., 2005), 전복의 성장 및 생물지표에 영향을 미친다고 알려졌지만 이에 관해 구체적으로 보고된 자료는 없다.

따라서 본 연구에서는 한국에서 해상가두리 전복 양식장이 주로 분포하는 남해안의 완도, 진도 및 통영에서 북방전복 *Haliotis discus hannai* 부착생물의 종류와 밀도에 관한 자료의 축적과 부착생물 제거가 전복의 생존, 성장 및 간체장의 건강성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

Table 2. Attached organisms of abalone, *Haliotis discus hannai*

Phylum	Attached organisms
Porifera	Sponge
Cnidaria	Hydrozoa, Sea anaemone
Bryozoa	Bryozoa
Annelida	Serpulid worm
Mollusca	Oyster, Saddle oyster, Mussel, Limpet
Arthropoda	Barnacle
Chordata	Sea squirt, Ghost sea squirt, Warty sea squirt
Chlorophyta	Green algae
Rhodophyta	Red algae, Coralline algae, Crustose coralline algae

재료 및 방법

1. 조사지역

부착생물 종류 및 부착 정도는 한국 남해안의 완도 19개, 진도 5개, 통영 2개 지역에서 각각 북방전복을 약 30개체씩 무작위 채집하여 전체 787개체의 측정형질을 화상분석프로그램(i-solution, IMT Inc., U.S.A.)을 이용해 계측한 후 부착생물의 종류와 밀도를 분석하였다(Table 1).

2. 분석방법

1) 부착생물의 종류

부착생물의 종류는 북방전복의 패각에 부착한 생물을 개체별로 동정한 후, 지역별로 우점하는 종을 분석하였다(Table 2, Fig. 1).



Fig. 2. Microscopic image analysis of the attached organisms area in abalone, *Haliotis discus hannai*. (A) area of shell, (B) area of attached organisms, (C) analysis of area ratio with attached organisms.



Fig. 3. Process of removing attached organisms from abalone using an attached organisms removal device. (A) attachment organisms removal device, (B) removing the attached organisms, (C) attached organisms-removed abalone.



Fig. 4. The marine net cages for the biological effect with attached organisms-removed abalone, *Haliotis discus hannai*.

2) 부착생물 면적비

북방전복의 패각 표면에 부착한 부착생물의 면적은 개체별로 패각의 면적과 부착생물의 부착면적을 Adobe Photoshop CS6 (Adobe, U.S.A.)과 화상분석프로그램(i-solution, IMT Inc., U.S.A.)을 이용하여 측정하였다(Fig. 2). 부착생물 면적비는 아래와 같은 식으로 계산하였다.

$$\text{Area ratio of attached organisms (ARAO) (\%)} = \frac{\text{Area of attached organisms (cm}^2\text{)}}{\text{Area of shell (cm}^2\text{)}} \times 100$$

3) 부착생물 제거에 따른 생물영향

(1) 실험 장소 및 실험구

생물영향 평가는 전라남도 완도군 보길면에 위치한 해상가두리 양식시설에서 2020년 11월부터 3개월 주기로 실시하였다. 실험구는 대조구(부착생물을 제거하지 않은 북방전복)와 부착생물 제거구(부착생물을 제거한 북방전복)로 구분하였다. 부착생물 제거는 양식현장에서 사용하는 부착생물 제거기를 이용하였다(Fig. 3). 각 실험용 가두리(2.4 m*2.4 m*3 m)에 550개체 내외(각장 6.3±1.1 cm)를 수용하여 2회 반복구에서 수행하였다(Fig. 4).

Table 3. Area ratio of attached organisms (ARAO) to shell of *Haliotis discus hannai* in Wando, Jindo and Tongyeong

Phylum	Attached organisms	ARAO (%)
Porifera	Sponge	1.95
Cnidaria	Hydrozoa (0.12), Sea anaemone (0.04)	0.17
Bryozoa	Bryozoa	12.93
Annelida	Serpulid worm	1.61
Mollusca	Oyster (34.12), Saddle oyster (0.04) Mussel (1.31), Limpet (0.016)	35.54
Arthropoda	Barnacle	4.99
Chordata	Sea squirt (0.18), Ghost sea squirt (0.09), Warty sea squirt (0.029)	0.30
Cholorophyta	Green algae	0.001
Rhodophyta	Coraliine algae (0.018) Crustose coralline algae (0.030)	0.05
Total		57.54

(2) 생존율

실험생물의 사망은 육질부가 없는 개체의 누적사망률을 구하여 생존율로 환산하여 나타냈다.

(3) 성장

성장은 실험생물과 측정용 자를 함께 촬영하여 화상분석프로그램(i-solution, IMT Inc., U.S.A.)을 이용하여 측정하였다.

(4) 조직학적 지표

조직학적 지표는 분석 기관계의 광학현미경 조직표본을 제작하여 분석하였다. 북방전복의 간체장과 발의 일부를 적출하여 10% 중성포르말린에 24시간 고정한 후 48시간 동안 수세하였다. 시료는 파라핀 절편법에 따라 두께 4~6 μm의 조직표본을 제작하였다. 제작된 조직표본은 Mayer's hematoxylin-eosin (H-E) 이중염색을 통해 분석하였다.

(5) 생화학적 조성

일반성분은 AOAC (Association of Official Analytical Chemists)법에 따라 수분함량은 105°C 건조법, 회분은 550°C 회화법으로 분석하였다. 조지방은 조지방추출기(SER 158/6, VELP Scientifica Sri, Italy)를 이용하여 분석하였으며, 조단백질은 원소분석기(vario MACRO cube, DKSH, New Zealand)를 이용하여 전질소량을 정량하고 질소계수 6.25를 곱하여 조단백질로 하였다. 탄수화물은 100에서 수분,

Table 4. Area ratio of attached organisms (ARAO) to shell of *Haliotis discus hannai* in Wando

Phylum	Attached organisms	ARAO (%)
Porifera	Sponge	1.22
Cnidaria	Hydrozoa (0.16), Sea anaemone (0.070)	0.23
Bryozoa	Bryozoa	14.33
Annelida	Serpulid worm	1.94
Mollusca	Oyster (36.68), Saddle oyster (0.05) Mussel (0.189), Limpet (0.022)	36.94
Arthropoda	Barnacle	3.69
Chordata	Sea squirt (0.24), Ghost sea squirt (0.11), Warty sea squirt (0.039)	0.39
Rhodophyta	Coraliine algae (0.025) Crustose coralline algae (0.041)	0.07
Total		58.81

조단백질, 조지방, 회분의 값을 제외한 값으로 하였다.

결 과

1. 부착생물 면적비

완도, 진도, 통영에서 북방전복 패각의 평균 부착생물 면적비는 약 57.5%였다. 부착생물 가운데 굴의 지역별 출현율은 지역별 출현율은 100% (26/26)로 우점하였으며, 북방전복 패각에 굴이 부착된 면적비는 약 34.1%였다. 태형동물의 지역별 출현율은 92.3% (24/26)였으며, 부착 면적비는 약 12.9%였다. 따개비의 지역별 출현율은 76.9% (20/26)였으며, 부착 면적비는 약 5.0%였다(Table 3, Fig. 5).

완도에서 부착생물의 면적비는 약 58.8%였다(Tables 4 and 5, Fig. 6). 부착생물 중 굴의 지역별 출현율은 100% (19/19)였으며, 면적비는 약 36.7%로 가장 우점하였다. 굴에 이어 태형동물은 지역별 출현율이 89.5% (17/19)로 면적비는 약 14.3%로 나타났다. 따개비는 지역별 출현율 94.7% (18/19), 면적비는 약 3.7%였다(Fig. 6).

진도에서 부착생물의 면적비는 약 57.5%였다(Table 6, Fig. 7). 부착생물 중 굴의 지역별 출현율은 100% (5/5)였으며, 부착 면적비는 약 30.1%로 가장 높게 조사되었다. 태형동물의 지역별 출현율은 100% (5/5), 면적비는 약 13.5%였으며, 석회관갯지렁이는 지역별 출현율이 80.0% (4/5), 부착 면적비는 약 0.2%였다(Fig. 7).

통영에서 부착생물의 면적비는 약 71.3%였다(Table 7, Fig. 8).

Table 5. Area ratio of attached organisms to shell of abalone, *Haliotis discus hannai* in Wando

Phylum	Attached organisms	ARAO (%)							
		Sinji	Geumil	Geum-dang	Yaksan	Cheong-san	Bogil	Soan	Nohwa
Porifera	Sponge	1.22							
		0.16	0.70	0.25	0.07	0.00	0.04	0.01	-
Cnidaria	Hydrozoa (0.16) Sea anaemone (0.070)	0.23							
		0.0603	0.02	0.09	0.01	0.0002	0.04	-	0.001
Bryozoa	Bryozoa	14.33							
Annelida	Serpulid worm	1.94							
		0.73	0.18	0.10	0.17	0.15	0.37	0.14	0.10
Mollusca	Oyster (36.68) Saddle oyster (0.05) Mussel (0.189), Limpet (0.022)	36.94							
		4.6	4.289	4.72	5.775	7.952	4.982	1.594	3.033
Arthropoda	Barnacle	3.69							
		0.64	0.94	0.44	0.51	0.70	0.20	0.18	0.10
Chordata	Sea squirt (0.24) Ghost sea squirt (0.11) Warty sea squirt (0.039)	0.39							
		0.115	0.024	-	0.1	0.01	0.062	0.021	0.067
Rhodophyta	Coralliine algae (0.025) Crustose coralline algae (0.041)	0.07							
		-	0.066	-	-	-	-	-	-
Total		58.81							

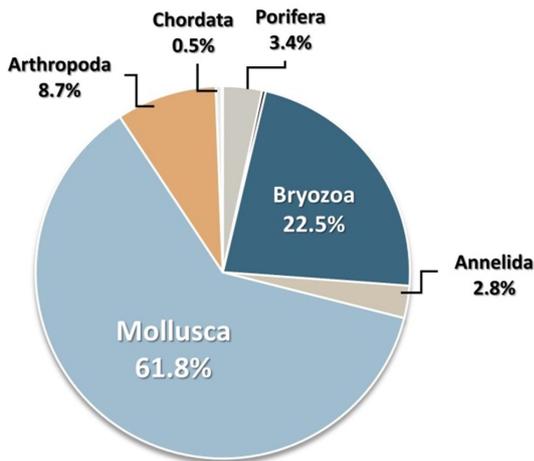


Fig. 5. Area ratio by Phylum of attached organisms to shell of *Haliotis discus hannai* in Wando, Jindo and Tongyeong.

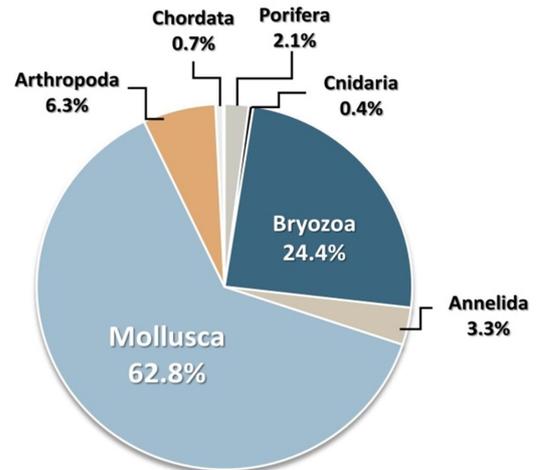


Fig. 6. Area ratio by Phylum of attached organisms to shell of *Haliotis discus hannai* in Wando.

Table 6. Area ratio of attached organisms (ARAO) to shell of *Haliotis discus hannai* in Jindo

Phylum	Attached organisms	ARAO (%)
Porifera	Sponge	0.05
Cnidaria	Hydrozoa	0.02
Bryozoa	Bryozoa	13.51
Annelida	Serpulid worm	0.17
Mollusca	Oyster (30.13), Saddle oyster (0.01)	30.14
Total		57.54

Table 7. Area ratio of attached organisms (ARAO) to shell of *Haliotis discus hannai* in Tongyeong

Phylum	Attached organisms	ARAO (%)
Porifera	Sponge	11.11
Cnidaria	Hydrozoa	0.01
Bryozoa	Bryozoa	0.65
Annelida	Serpulid worm	1.52
Mollusca	Oyster (20.60), Mussel (13.19)	33.79
Arthropoda	Barnacle	24.22
Total		71.30

부착생물 중 따개비의 지역별 출현율은 100% (2/2), 부착 면적비는 약 24.2%였다. 굴의 지역별 출현율은 100% (2/2), 부착 면적비는 약 20.6%였으며, 담치류의 지역별 출현율은 100% (2/2), 면적비는 약 13.2%로 조사되었다(Fig. 8).

2. 부착생물 제거에 따른 생물영향

1) 생존율

실험구별 생존율은 개시기로부터 3개월 후 2021년 3월에 대조구 97.7%, 부착생물 제거구 98.5%였으며, 5월에는 대조구와 부착생물 제거구 각각 94.0%, 95.8%로 부착생물 제거구에서 다소 높았다. 하지만, 2021년 8월에는 대조구 71.2%, 부착생물 제거구 66.8%, 11월에는 대조구 56.5%, 부착생물 제거구 46.1%로 생존율은 두 실험구 모두 2021년 8월부터 급격한 감소를 보였다(Fig. 9).

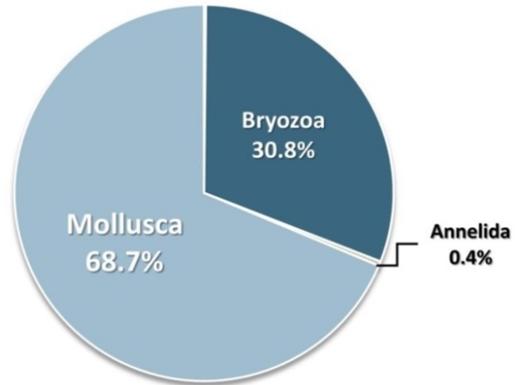


Fig. 7. Area ratio by Phylum of attached organisms to shell of *Haliotis discus hannai* in Jindo.

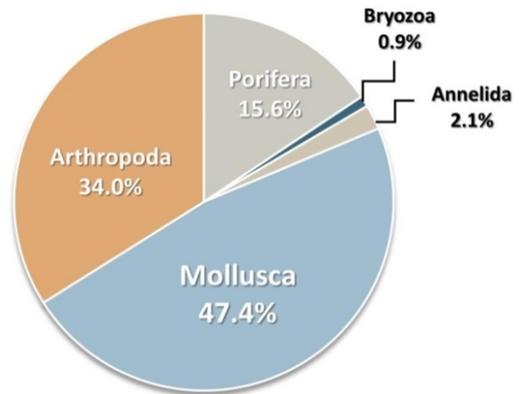


Fig. 8. Area ratio by Phylum of attached organisms to shell of *Haliotis discus hannai* in Tongyeong.

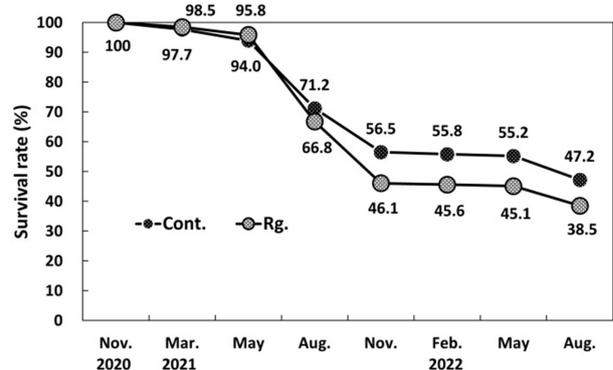


Fig. 9. Survival rate with remove the attached organisms on shell of abalone, *Haliotis discus hannai*. Cont.; control group, Rg.; removal group of attached organisms.

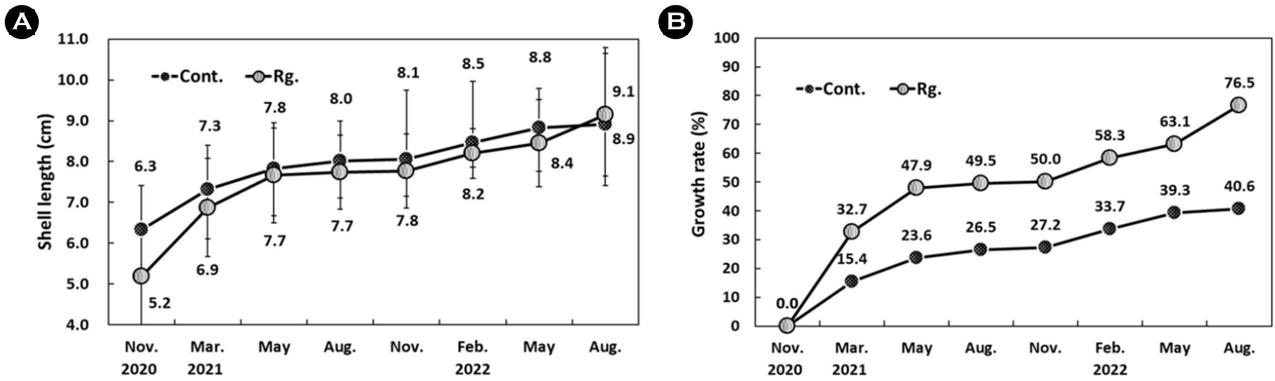


Fig. 10. Shell length (A) and growth rate (B) with remove the attached organisms on shell of abalone, *Haliotis discus hannai*. Cont.; control group, Rg.; removal group of attached organisms.

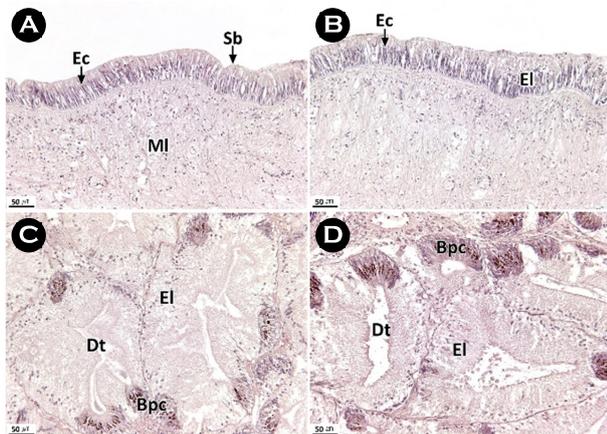


Fig. 11. Histology of foot (A and B) and hepatopancreas (C and D) with remove the attached organisms on shell of abalone, *Haliotis discus hannai*. A and C; control group, B and D; removal group of attached organisms. H-E stain. Bpc; basophilic cell, Dt; digestive tubule, Ec; epithelial cell, EI; epithelial layer, MI; muscle layer, Sb; striated border.

2) 성장

실험구별 성장은 개시기의 경우 대조구의 각장이 6.3±0.5 cm, 부착생물 제거구의 각장은 5.2±0.5 cm였다. 2021년 5월에는 대조구 7.8±1.1 cm, 부착생물 제거구 7.7±1.2 cm로 부착생물 제거구의 빠른 성장을 보였다. 2021년 11월에는 대조구의 각장이 8.1±1.7 cm, 부착생물 제거구의 각장은 7.8±0.9 cm였다(Fig. 10A). 성장률은 2021년 2월 대조구에서 11.8%, 부착생물 제거구에서 23.9%였으며, 3월부터 5월까지 대조구는 약 8% 증가하였고, 부착생물 제거구의 성장률은 약 15% 증가하였다. 2021년 11월까지의 급격한 증가가 나타나지 않아 대조구는 27.3%, 부착생물 제거구는 50.1%로 조사되었다. 생물 평가기간 동안 성장률은 부착생물 제

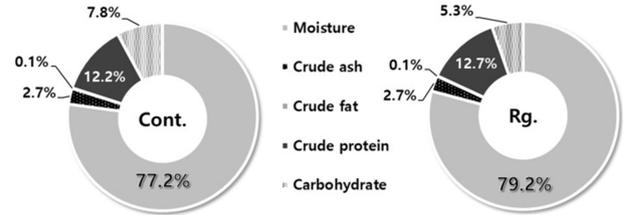


Fig. 12. Whole-body biochemical composition with remove the attached organisms of abalone, *Haliotis discus hannai*. Cont.; control group, Rg.; removal group of attached organisms.

거구가 대조구를 약 20% 정도 앞선 것으로 나타났다(Fig. 10B).

3) 조직학적 지표

조직학적 분석 결과, 발은 외부로부터 상피층, 결합조직층 및 근육층으로 구성되어 있었다. 상피층은 단층으로 주름을 가진 구조이며, 섬모원주형 상피세포, 점액세포 및 과립세포들로 구성되어 있었다. 상피층의 자유면에는 잘 발달된 선조연이 형성되어 있었으며, 점액세포들은 원주형 상피세포들 사이에 위치하며, H-E 염색과 Masson 삼중염색에서 공포상으로 나타났으나, AB-PAS (pH 2.5) 반응에서 alcian blue에 양성반응을 나타내 푸른색으로 반응하였다. 대조구와 부착생물 제거구 모두 상피세포와 점액세포의 변성 정도는 매우 낮았으며, 뚜렷한 차이는 보이지 않았다(Fig. 11A and B).

간체장은 다수의 소화선세관과 소화선세관 사이의 결합조직으로 구성되며, 소화선세관의 상피층은 단층으로 세포 외 소화를 담당하는 호염기성세포와 세포 내 소화를 담당하는 상피세포들로 구성되었다. 호염기성세포들은 H-E 염색에서 세포질이 호염기성을 나타내며, 상피세포들은 원주형으로 정단면에 미세융모들이 발달된 조직학적 특징을 보였다. 간체장의 소화선세관 상피세포

의 변성도 역시 두 그룹에서 모두 매우 낮은 정도로 유사하였다. 하지만 호염기성세포의 분포 정도는 대조구에 비해 부착생물 제거구에서 발달된 조직상을 보였다(Fig. 11C and D).

4) 생화학적 지표

실험구별 생화학적 조성은 조희분, 조지질은 대조구와 부착생물 제거구에서 동일하였다. 하지만, 수분은 대조구 77.2%, 부착생물 제거구 79.2%였으며, 조단백은 각각 12.2%와 12.7%였으며, 탄수화물은 대조구 7.8%, 부착생물 제거구 5.3%로 대조구에서 높은 값을 보였다(Fig. 12).

고찰

전복의 부착생물, 고수온에 의한 스트레스, 태풍, 적조와 같은 환경변화는 해양환경을 기반으로 하는 전복 양식에 큰 위험을 끼친다(Wu and Zhang, 2016). 껍질을 가진 연체동물의 표면에는 조류, 원생동물, 해면동물, 히드로충류, 말미잘, 석회관갯지렁이, 삿갓조개, 담치류, 따개비, 주걱벌레붙이목, 단각목, 피낭동물과 같은 다양한 생물들이 부착한다(Fitridge et al., 2012).

완도, 진도, 그리고 통영의 해상가두리에서 전복의 부착생물을 분석한 결과, 부착생물의 종류는 9개의 문(Phylum)으로 그 가운데 연체동물문에 속하는 종류가 전체 부착생물의 61.8%로 우점하였다. 지역별로 종 분포와 우점도가 서로 달랐는데, 완도에서는 부착생물 가운데 굴이 가장 많았으며 태형동물과 따개비가 뒤를 이었다. 진도도 굴이 우점하였으며 태형동물과 석회관갯지렁이가 부착되었다. 그러나 완도에서 관찰된 말미잘, 척삭동물문(Phylum Chordata), 홍조류(Phylum Rhodophyta)는 관찰되지 않았다. 통영 역시 굴이 가장 우점하였고, 따개비와 담치류, 해면동물이 뒤를 이었다. 해양생물의 군집구조 및 생태학적 특성은 조석, 해류, 태양광의 노출 정도, 수질의 탁도 및 수온, 조류방향 및 속도 등 무기해양환경의 일차적인 영향과 더불어 서식종 간의 생물생태학적 연계성 등을 반영한다(Thorson, 1957; Jones and Demetropoulos, 1968; Connell, 1972; Menge, 1976). 따라서 본 연구에서는 세 지역의 해상가두리에서 모두 굴과 태형동물이 우점하였으나 부착생물의 종류와 우점도는 서로 차이를 보였는데, 이러한 차이는 해역별 해양환경의 차이로 판단된다.

캘리포니아의 *H. rufescens*의 패각에는 해면동물, 이매패류, 다모류를 포함한 다양한 생물들의 부착이 보고되었는데, 부착생물이 패각의 바깥 부분에 부착하였을 때는 전복의 성장에 심각한 영향을 미치지 않지만, 일부 종들은 패각의 안쪽에 침입하여 전복의 생존과 정상적인 성장을 크게 방해할 수 있다(Oakes and Fields, 1996). *Pinctada martensii*의 경우 부착생물은 숙주와 먹이경쟁을 하고, 패각의 무게를 증가시키며 패각 사이에 위치하여 패각을 여닫는 데에 어려움을 준다(Su et al., 2007). *Dodecaceria* sp.와

같은 일부 종들은 전복 패각에 구멍을 뚫어 손상을 주기도 한다(Rozbaczylo et al., 2007). 수서생물을 그물 케이지에서 키우는 경우 부착생물은 숙주의 이동성을 감소시켜 섭이활동 등을 방해하며, 먹이경쟁뿐만 아니라 물의 흐름을 방해하고 저하시킨다. 결과적으로 수서생물의 먹이 양이 줄어들어 성장이 저하되고 경제적 측면에서도 손실을 초래한다(Su et al., 2007). 또한 부착생물은 숙주의 이동과 함께 다른 지역으로 옮겨갈 수 있는데, Wu and Zhang (2016)의 연구에 따르면 부착된 굴이 전복의 이동으로 인해 다른 지역으로 옮겨가 생태학적 위험을 초래하기 때문에, 야생종의 보존을 위해 부착생물을 제거한 후 전복의 이동이 이루어져야 한다고 하였다.

한국에서는 전복류의 양식생산 과정에서 두 번의 부착생물 제거과정을 거치는데 태형동물과 해초류와 같은 부드러운 부착생물은 간단히 제거할 수 있지만, 굴이나 따개비같이 단단한 패각을 가지거나 고착성이 높은 부착생물은 제거하기가 어렵다. 따라서 치핑기라는 부착생물 제거장치를 이용하여 부착생물을 제거한다.

2020년 11월부터 부착생물 제거에 따른 생물영향 분석 결과, 생존율은 실험 개시기부터 6개월까지는 부착생물 제거구에서 약 1.8% 높았다. 하지만 2021년 하계 고수온기부터 대조구의 생존율이 높게 나타나 2022년 8월에는 대조구 약 47.2%, 부착생물 제거구 약 38.5%로 대조구가 약 8.7% 높았다. 하지만, 이러한 결과는 2021년 하계의 장기적인 고수온으로 두 실험구 모두 높은 사망률을 보여 부착생물 제거에 따른 생존율의 차이를 설명하기는 어려운 것으로 생각된다.

성장 지표는 개시기에 대조구의 각장이 6.3 ± 0.5 cm, 부착생물 제거구의 각장은 5.2 ± 0.5 cm였다. 그러나 부착생물 제거구의 빠른 성장으로 2021년 5월 대조구 약 7.3 cm, 부착생물 제거구 약 6.9 cm, 2022년 8월에는 대조구 약 8.9 cm, 부착생물 제거구 약 9.1 cm로 부착생물 제거구가 대조구보다 빠른 성장을 나타냈다. 성장률은 개시기를 기준으로 2022년 8월에는 부착생물 제거구에서 성장률이 약 36% 높았다. 이러한 결과는 부착생물이 제거된 전복의 이동성과 섭이활동이 증가되었기 때문인 것으로 판단된다.

전복의 발은 이동과 부착의 기능을 한다(Voltzow, 1994). 전복의 발은 기저근육이 폐각근 또는 각축근과 밀접하게 연관되어 있어 기질에 단단히 붙어 기어 다니는 역할을 하며(Trueman and Brown, 1985; Voltzow, 1994), 강한 스트레스를 받으면 기질로부터의 탈락과 이동성의 저하 등 구조의 변성과 기능의 저하가 나타난다(Donovan and Taylor, 2008). 본 연구에서는 대조구와 부착생물 제거구의 발을 조직학적으로 비교하였을 때, 뚜렷한 구조적 차이는 관찰되지 않았다.

간체장은 소화, 흡수 및 해독기능을 한다. 간체장은 다수의 소화선세포로 이루어져 있으며 소화선세포의 단층 상피층에는 세포 내 소화와 흡수를 담당하는 상피세포, 세포 외 소화를 위한 효소 분비에 관여하는 호염기성세포로 구분된다(Voltzow, 1994; Zaldibar et al., 2007; Jung et al., 2013). 고수온이나 염화아연과 같

이 스트레스에 노출된 복방전복은 호염기성세포의 변성과 감소가 나타나 간체장의 기능이 저하된다(Son et al., 2015b; Kim et al., 2018). 본 연구에서는 부착생물 제거구에서 호염기성세포의 분포 정도가 대조구에 비해 높아 간체장의 기능 역시 부착생물 제거구에서 높을 것으로 판단되었다.

생화학적 조성 가운데 조단백질은 생물의 주요한 체성분으로 장기간의 스트레스 상황에서는 에너지원으로 사용된다(Lemasson et al., 2018). 본 연구에서의 조단백질은 대조구 12.2%, 부착생물 제거구 12.7%로 약 0.5% 차이가 났는데, 이는 유의적인 차이로 보기 어렵다.

본 연구에서는 한국 남해안 해상가두리에서 전복의 부착생물 종류와 지역별 우점도를 문(Phylum) 수준에서 기재하였지만, 좀 더 정확한 부착생물에 관한 정보를 얻기 위해서는 종(species) 수준의 분류가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부의 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 사업현장의 현안 해결지원사업의 지원을 받아 연구됨(20200487).

참고문헌

- Connell JH. 1972. Community interactions on marine rocky intertidal shores. *Annu Rev Ecol Syst* 3: 169-192.
- Donovan DA, Taylor HH. 2008. Metabolic consequences of living in a wave-swept environment: effects of simulated wave forces on oxygen consumption, heart rate, and activity of the shell adductor muscle of the abalone *Haliotis iris*. *J Exp Mar Biol Ecol* 354: 231-240.
- Fitridge I, Dempster T, Guenther J, de Nys R. 2012. The impact and control of biofouling in marine aquaculture: a review. *Biofouling* 28: 649-669.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2022. FishStatJ-Software for Fishery and Aquaculture Statistical Time series. Statistics Team (NFIS) Fisheries and Aquaculture Division (NFI). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fish>
- Jones W, Demetropoulos A. 1968. Exposure to wave action: measurements of an important ecological parameter on rocky shores on Anglesey. *J Exp Mar Biol Ecol* 2: 46-63.
- Jung GK, Park JJ, Jeon MA, Shin HC, Lee YG, Lee JS. 2013. Hepatopancreas ultrastructure of the spiny top shell, *Batillus cornutus* (Gastropoda: Turbinidae). *Bull Fish Sci Inst Chonnam Nat Univ* 21: 11-15.
- Kim J, Kim S, Lee JS, Kim JW. 2018. Tolerance on high water temperature of hybrid abalone (*Haliotis discus hannai* × *H. discus discus*). *J Kor Soc Fish Mar Edu* 30: 2102-2111.
- Lemasson AJ, Hall-Spencer JM, Kuri V, Knight AM. 2018. Changes in biochemical and nutrient composition of seafood due to ocean acidification and warming. *Mar Environ Res* 143: 82-92.
- Menge BA. 1976. Organization of the New England rocky intertidal community: role of predation, competition, and environmental heterogeneity. *Ecol Monogr* 46: 355-393.
- Oakes FR, Fields RC. 1996. Infestation of *Haliotis rufescens* shells by a sabellid polychaete. *Aquaculture* 140: 139-143.
- Park J, Lim B, Lee J. 2005. A survey of the rocky intertidal biota in Uldolmok, Korea. *Proceedings of the Korean society for new and renewable energy*: 502-506.
- Rozbaczylo N, Avilés F, Herve M, Godoy M. 2007. First report of *Dodecaceria* sp. (Polychaeta: Cirratulidae), in red abalone in Chile. *J Shellfish Res* 26: 855-857.
- Son MH, Park MW, Kim BH, Lee SW. 2015a. A study on the comparative analysis of business performance of abalone seed, *Haliotis discus hannai* by region and farming size in the land-based system. *J Fish Bus Adm* 46: 1-13.
- Son MH, Kim BK, Kim S, Lee JS. 2015b. Histological indicator change of the abalone *Haliotis discus hannai* chronic exposed to zinc chloride (ZnCl₂). *Korean J Malacol* 31: 195-201.
- Su Z, Yan Y, Huang L. 2007. Effect of fouling on feeding, oxygen consumption and waste excretion of pearl oyster *Pinctada martensii* in Daya Bay cultivation. *Bull Mar Sci* 9: 34-42.
- Thorson G. 1957. Chapter 17 Bottom communities (sublittoral or shallow shelf). Hedgpeth J (ed.), *Treatise on marine ecology and paleoecology*. Geological Society of America, Boulder, pp 461-534.
- Trueman ER, Brown AC. 1985. The mechanism of shell elevation in *Haliotis* (Mollusca: Gastropoda) and a consideration of the evolution of the hydrostatic skeleton in Mollusca. *J Zool* 205: 585-594.
- Voltzow J. 1994. Gastropoda: Prosobranchia. Harrison FW, Kohn AJ (ed.), *Microscopic anatomy of invertebrates* Vol. 5. Mollusca I. Wiley-Liss, New York, pp 111-252.
- Wu F, Zhang G. 2016. Potential of abalone shells as vectors for exotic oyster species in the abalone farming practice in China. *J Shellfish Res* 35: 619-624.
- Zaldibar B, Cancio I, Marigómez I. 2007. Reversible alterations in epithelial cell turnover in digestive gland of winkles (*Littorina littorea*) exposed to cadmium and their implications for biomarker measurements. *Aquat Toxicol* 81: 183-196.