

경북 울진 암반 생태계에서의 연체동물 다양성 연구

윤보배¹, 이대원¹, 박용주², 장석일², 정운환²

¹한국해양과학기술원 해양생명자원연구부, ²한국해양과학기술원 통영해상실증기지

Molluscan Diversity in the Rocky Shore Ecosystem of Uljin, Gyeongbuk, Korea

Bobae Yoon¹, Dae Won Lee¹, Yong-Joo Park², Seogil Jang² and Yun-Hwan Jung²

¹Marine Biotechnology and Bioresource Research Department, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Republic of Korea

²Tongyeong Maritime Test and Evaluation Station, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Republic of Korea

ABSTRACT

This study provides a comprehensive long-term analysis of the diversity and distribution patterns of marine mollusks inhabiting rocky shore ecosystems along the coast of Uljin, Gyeongbuk. From August 2012 to February 2024, surveys were conducted eight times at 11 stations over approximately 12 years using scientific diving and quadrat sampling methods. A total of 124 molluscan species belonging to 45 families, 18 orders, and 4 classes were identified, with Gastropoda showing the highest species richness (79 species, 63.7%). Analysis of vertical distribution revealed distinct differences in species composition between habitats, with 29 species recorded in the intertidal zone and 108 species in the subtidal zone. Dominance analysis indicated that the periwinkle *Echinolittorina radiata* and the mussel *Modiolus kurilensis* were the primary and secondary dominant species, respectively, representing key components of the rocky shore ecosystems molluscan community in Uljin. Long-term monitoring also revealed the emergence of new species such as *Turbo cornutus*, *Chlorostoma turbinatum*, *Omphalius pfeifferi pfeifferi*, *Lacuna turrita*, and *Mitrella bicincta*. Notably, the occurrence of the subtropical species *Turbo cornutus* suggests that rising seawater temperatures driven by climate change are influencing the structure and distribution of mollusks along the East Sea coast. This study provides fundamental data on molluscan diversity in the rocky shore ecosystem of Uljin and offers important scientific evidence for understanding the long-term ecological impacts of climate change on the marine ecosystems of the East Sea.

Keyword: Mollusks, Species Diversity, Rocky Shore Ecosystem, Climate Change, Long-term Monitoring

서 론

동해는 북서태평양에 위치한 반폐쇄성 해역으로, 단조로운 해안선과 수심이 급격히 증가하는 해저지형이 특징적이며, 0.3-0.4 m의 소조차로 인해 협소한 조간대를 형성한다 (Boo,

1987; Naganuma, 2000). 이 해역은 남쪽의 대마난류 (Tsushima Warm Current) 와 북쪽의 리만한류 (Liman Cold Current) 가 교차하는 해역으로, 높은 생물 생산성과 다양한 해양 생물상을 유지하는 중요한 생태학적 공간이다 (Gong and Son, 1982; Park *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 2009). 경북 울진 연안은 암반대와 사질 해안이 혼재하는 지역으로, 상대적으로 낮은 인위적 간섭으로 인해 동해 고유의 생태적 특성이 잘 보전된 해역으로 평가된다. 특히 거일리 남측의 발달 된 암반 지형과 직산리·월송리·구산리 일대의 사질 기질은 서로 다른 생물군집 구조를 형성하여 높은 서식지 다양성을 제공한다 (MOMAF, 2005).

연체동물 (Mollusca) 은 해양생태계에서 1차 소비자라 여 과섭식자로서 중요한 생태적 역할을 수행하며, 먹이망 내에서

Received: September 06, 2025; Revised: September 14, 2025;
Accepted: September 22, 2025

Corresponding author: Yun-Hwan Jung

Tel: +82 (51) 664-3327, e-mail: aries0324@kiost.ac.kr
1225-3480/24899

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

에너지 전달의 핵심 연결고리 역할을 담당한다 (Nakaoka, 2000; Commito *et al.*, 2005). 또한 폐각을 통한 탄산칼슘 고정과 생물교란 (bioturbation) 을 통해 해양 탄소순환과 퇴적물 구조 변화에 기여한다 (Green *et al.*, 2004; Gutierrez *et al.*, 2003). 특히 암반 기질에 서식하는 연체동물은 제한된 이동성과 긴 생활사로 인해 환경 변화에 민감하게 반응하므로, 기후변화와 해양환경 변동을 감지하는 우수한 생물지표로 활용된다 (Helmuth *et al.*, 2006; Mieszkowska *et al.*, 2006).

그동안 동해안 해양무척추동물 연구는 주로 연성 기질을 대상으로 수행 되어왔으며 (Paik *et al.*, 2007; Hwang *et al.*, 2014), 암반 기질 서식 생물에 대한 체계적 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 암반 기질은 안정적인 서식환경과 다양한 미세서식처를 제공하여 높은 종 다양성을 유지하므로, 이 생태계의 연체동물 종 다양성 분석은 해양생태계 건강성 평가의 중요한 기준이 될 수 있다.

따라서 본 연구는 울진 연안 암반 기질에 서식하는 연체동물의 종 다양성과 분포 특성을 장기간에 걸쳐 분석하여, 동해안에 서식하는 연체동물 자원을 지속적으로 이용하고 보전하기 위한 변동과 분포 양상을 파악하였다.

재료 및 방법

현장 조사는 경북 울진 연안 해역에서 2012년 8월부터 2024년 2월까지 약 12년간 총 8차례 수행하였다. 조사 시기는 초기 조사 (2012년 8월, 2013년 2월, 2017년 4월 및 7월) 와 장기 변동 분석을 위한 후기 조사로 (2023년 4월, 7월, 10월, 2024년 2월) 구분하였다. 조사 정점은 총 11개 지점을 설정하였으며, 서식처별 특성을 고려하여 조간대 (St. 1-10) 와 조하대 (St. 1, 3, 4, 5, 7, 9, 11) 로 구분하여 조사하였다 (Fig. 1). 연체동물 시료는 과학잠수 (Scientific SCUBA diving) 기법과 방형구법 (Quadrat sampling method) 을 병행하여 채집하였다. 채집된 시료는 현장에서 1차 분류 후 종별 특성에 따라 70-95% 에틸알코올 또는 10% 중성포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반하였다. 연체동물은 다판강 (Polyplacophora), 복족강 (Gastropoda), 이매패강 (Bivalvia), 두족강 (Cephalopoda) 으로 대분류하였으며, 가능한 종 수준까지 동정하였다. 종 동정은 다음 문헌을 참고하였다: Choi (1992), Takashi (2000), Min *et al.* (2004), Koh (2006), Lee (2016), 《한국 연체동물 목록》, 《대한민국 생물지 한국의 무척추동물 제19권 6호 복족류 V》, 《한국의 무척추동물 제19권 7호 이매패류 III》, 《한국의 무척추동물 제19권 8호 복족류 VI》. 분류체계는 국제적으로 통용되는 WoRMS (World Register of Marine Species, 2017) 를 따랐다. 동정된 연체동물은 형태학적 특징 관찰 및 기록을 위

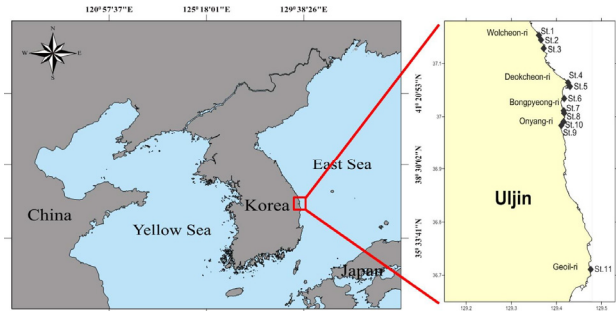


Fig 1. Sampling sites along the Uljin coast of Korea. Ten sites were intertidal (St. 1-10), and seven were subtidal (St. 1, 3, 4, 5, 7, 9, 11)

해 실험현미경 LEICA M205C (Leica, 독일) 을 이용하여 표본을 촬영하였다. 표본의 상태가 불량한 일부 연체동물은 국립해양생물자원관으로부터 대여하거나 생태사진을 활용하였다. 생태사진을 활용한 경우는 스케일 바를 표기하지 않았다.

결 과

1. 조사지역 개황

본 연구의 대상지인 울진군은 경상북도 북동부에 위치하며, 동쪽으로 동해에 인접하여 총 101.2 km에 달하는 해안선을 보유하고 있다. 2005년부터 2024년까지 20년간의 기상관측 자료에 따르면 (Korea Meteorological Administration), 울진 지역의 기온은 -16.1-37.8°C의 범위를 보이며 연 13.1°C로 전형적인 해양성 기후 특성을 나타낸다. 해양환경 특성의 경우 (Ministry of Oceans and Fisheries), 저층 수온은 2.4-21.5°C (평균 11.1°C), 저층 염분은 32.6-34.8 PSU (평균 34.0 PSU), 저층 용존산소 농도는 4.7-11.4 mg/L (평균 8.1 mg/L) 의 분포를 보였다. 이러한 기후 및 해양학적 특성은 계절적 변동성을 보이면서도 비교적 안정적인 환경 조건을 유지하여, 다양한 해양 생물의 서식과 생태계 생산성 유지에 적합한 환경을 제공하고 있다.

2. 연체동물 종 조성 및 다양성

울진 연안 암반 기질에 서식하는 연체동물은 총 4강 17목 55과 124종이 확인되었다. 이 중 다판강 (Polyplacophora) 은 4과 9종, 복족강 (Gastropoda) 은 26과 79종, 이매패강 (Bivalvia) 은 16과 34종, 두족강 (Cephalopoda) 은 1과 2종으로 나타났다. 복족강이 전체 출현 종의 약 64%를 차지하여 가장 높은 종 다양성을 보였으며, 이매패강 (27.4%), 다판강 (7.3%), 두족강 (1.6%) 순으로 확인되었다.

조간대에서는 총 12,603 ind/m²의 개체가 출현하였으며, 정점별로는 St. 2에서 3,282 ind/m²로 가장 많았고, St. 10에

서 9 ind/m²로 가장 적었다. 그 외 정점에서는 St. 5 (1,671 ind/m²), St. 7 (1,581 ind/m²), St. 6 (1,440 ind/m²), St. 3 (1,397 ind/m²), St. 9 (1,098 ind/m²), St. 4 (943 ind/m²), St. 8 (652 ind/m²), St. 1 (530 ind/m²) 의 순으로 나타났다. 조하대에서는 총 2,264 ind/m²의 개체가 출현하였으며, St. 3에서 833 ind/m²로 가장 많았고, St. 11에서 106 ind/m²로 가장 적었다. 그 외 정점은 St. 5 (416 ind/m²), St. 7 (350 ind/m²), St. 4 (245 ind/m²), St. 9 (165 ind/m²), St. 1 (149 ind/m²) 순이었다.

Phylum Mollusca 연체동물문

Class Polyplacophora 다판강

Order Chitonida 군부목

Family Acanthochitonidae 가시군부목

1. *Acanthochitona achates* 좀털군부 Material examined: n = 38, subtidal St. 1, 3, 5, 7 and 11

Family Mopaliidae 따가리과

2. *Mopalia retifera* 수염군부 Material examined: n=3, subtidal St. 3
3. *Mopalia schrencki* 슈크렌군부 Material examined: n = 2, subtidal St. 4
4. *Plaxiphora integra* 털다발군부 Material examined: n = 9, subtidal St. 3, 5 and 9
5. *Tonicella zotini* 붉은반점복방작은군부 Material examined: n = 5, subtidal St. 1

Family Chitonidae 군부과

6. *Chiton kurodai* 꼬마군부 Material examined: n = 2, subtidal St. 11
7. *Onithochiton hirasei* 비단군부 Material examined: n = 4, intertidal St. 4, 5 and subtidal St. 9

Family Ischnochitonidae 연두군부과

8. *Ischnochiton comptus* 연두군부 Material examined: n = 7, subtidal St. 3, 5, 9 and 10
9. *Ischnochiton boninensis* 가는줄연두군부 Material examined: n = 1, subtidal St. 11

Class Gastropoda 복족강

Order Neogastropoda 신복족목

Family Fasciolaridae 긴고둥과

10. *Fusolaturus coreanicus* 배달긴고둥 Material examined: n = 10, subtidal St. 11

11. *Marmorofusus tuberosus* 흑갈색긴고둥 Material examined: n = 2, subtidal St. 4

12. *Nodilittorina* cf. *vidua* 총알고둥류 Material examined: n = 54, intertidal St. 2, 3, 4, 7 and 8

Family Muricidae 뿔소라과

13. *Muricidae* sp. 뿔소라류 Material examined: n = 1, subtidal St. 1

Order unassigned

Family Nacellidae 애기삿갓조개과

14. *Cellana grata* 진주배말 Material examined: n = 43, intertidal St. 1, 3, 4, 5, 6, 8 and subtidal St. 11
15. *Cellana toreuma* 애기삿갓조개 Material examined: n = 31, intertidal St. 2, 4, subtidal St. 3, 4, 5 and 7
16. *Cellana* sp. 애기삿갓조개류 Material examined: n = 2, intertidal St. 4

Family Lepetidae 무새흰삿갓조개과

17. *Cryptobranchia alba* 작은무새흰삿갓조개 Material examined: n = 1, subtidal St. 5

Family Lottidae 두드럭배말과

18. *Lottia dorsuosa* 두드럭배말 Material examined: n = 276, intertidal St. 1 - 9
19. *Lottia luchuana* 주름애기두드럭배말 Material examined: n = 6, intertidal St. 2 and subtidal St. 7
20. *Lottia kogamogai* 애기두드럭배말 Material examined: n = 9, intertidal St. 2 and subtidal St. 9
21. *Lottia tenuisculpta* 흰무늬배말 Material examined: n = 17, intertidal St. 1, 2 and 6
22. *Lottia* sp. 두드럭배말류 Material examined: n = 1, intertidal St. 6
23. *Acmaea schrenckii* 배무래기 Material examined: n = 32, intertidal St. 2, 4 and subtidal St. 9
24. *Niveotectura pallida* 흰삿갓조개 Material examined: n = 11, subtidal St. 1, 7, 9 and 11

Order Lepetellida 등구멍고둥목

Family Fissurellidae 구멍삿갓조개과

25. *Macroschisma sinense* 구멍삿갓조개 Material examined: n = 5, subtidal St. 4
26. *Scelidotoma gigas* 뿔럭지삿갓조개 Material examined: n = 2, subtidal St. 11

27. *Tugali decussata* 흰이랑삿갓조개 Material examined: n = 8, subtidal St. 1, 5 and 7

Family Trochoidae 밤고등과

28. *Cantharidus callichroa* 얼룩고등 Material examined: n = 3, subtidal St. 1, 5 and 7
29. *Cantharidus jessoensis* 둥근입얼룩고등 Material examined: n = 87, subtidal St. 1, 3, 4, 5, 7 and 9
30. *Monodonta neritoides* 각시고등 Material examined: n = 1, intertidal St. 3
31. *Clanculus cognatus* 흰점줄박이고등 Material examined: n = 1, subtidal St. 5
32. *Lirularia iridescens* 새끼밤고등 Material examined: n = 33, subtidal St. 1, 3, 4, 5, 7 and 9
33. *Lirularia pygmaea* 햇살밤고등 Material examined: n = 96, subtidal St. 1, 3, 4, 5, 7, 9 and 11

Family Turbinidae 소라과

34. *Turbo cornutus* 소라 Material examined: n = 2, subtidal St. 4 and 11

Family Calliostomatidae 방식고등과

35. *Calliostoma multiliratum* 얼룩방식고등 Material examined: n = 15, subtidal St. 1, 3, 4, 5 and 7
36. *Tristichotrochus unicus* 방식고등 Material examined: n = 2, subtidal St. 4 and 7

Family Tegulidae 보말고등과

37. *Chlorostoma rugatum sublaevis* 갯골뱅이 Material examined: n = 5, subtidal St. 7 and 11
38. *Chlorostoma lischkei* 밤고등 Material examined: n = 2, subtidal St. 4 and 11
39. *Chlorostoma turbinatum* 구멍밤고등 Material examined: n = 5, subtidal St. 4 and 11
40. *Omphalius pfeifferi carpenter* 팽이고등 Material examined: n = 8, subtidal St. 1 and 9
41. *Omphalius pfeifferi pfeifferi* 바다방식고등 Material examined: n = 3, intertidal St. 10 and subtidal St. 4 and 11

Family Collonidae 팔알고등과

42. *Bothropoma pilula* 쇠팔알고등 Material examined: n = 1, subtidal St. 7

Order Littorinimorpha 총알고등목

Family Calyptraeidae 배고등과

43. *Crepidula onyx* 뚱뚱이짚신고등 Material examined: n = 75, subtidal St. 1, 3, 4, 5, 7, 9 and 11

Family Littorinidae 총알고등과

44. *Lacuna smithii* 좁총알고등 Material examined: n = 2, subtidal St. 5 and 7
45. *Lacuna turrita* 방울고등 Material examined: n = 5, subtidal St. 4
46. *Echinolittorina radiata* 좁쌀무늬총알고등 Material examined: n = 1,170, intertidal St. 1 - 9
47. *Littorina brevicula* 총알고등 Material examined: n = 32, intertidal St. 2, 5, 6 and 9
48. *Peasiella habeii* 난쟁이총알고등 Material examined: n = 18, intertidal St. 2, 4, 5 and 8

Family Naticidae 구슬우렁이과

49. *Cryptonatica russa* 빨강구슬우렁이 Material examined: n = 1, intertidal St. 10
50. *Bulbus smithii* 얇은갈색구슬우렁이 Material examined: n = 1, subtidal St. 9
51. *Cryptonatica* sp. (andai) 구슬우렁이류 Material examined: n = 1, intertidal St. 10
52. *Glossaulax* sp. 큰구슬우렁이류 Material examined: n = 1, subtidal St. 11

Family Rissoidae 루소고등과

53. *Alvania plicosa* 꼬마뽕족고등 Material examined: n = 1, subtidal St. 7

Family Barleeidae 깨고등과

54. *Ansola angustata* 깨고등 Material examined: n = 6, intertidal St. 5 and subtidal St. 3

Family Ranellidae 수염고등과

55. *Monoplex parthenopeus* 각시수염고등 Material examined: n = 3, subtidal St. 11
56. *Fusitriton galea* 호리호리털골뱅이 Material examined: n = 1, intertidal St. 10

Family Eulimidae 바늘고등과

57. *Pelseneeria castanea* 진드기고등 Material examined: n = 1, subtidal St. 1

Family Hiponicidae 고깔고둥과

58. *Cheilea cepacea* 둥근배고둥 Material examined: n = 8, subtidal St. 3, 5 and 7

Family Velutinidae 배고둥불이과

59. *Lamellaria kiiensis* 긴입배고둥불이 Material examined: n = 3, subtidal St. 3
 60. *Lamellaria* sp. 긴입배고둥불이류 Material examined: n = 2, subtidal St. 3

Family Vermetidae 뱀고둥과

61. *Thylacodes adamsii* 큰뱀고둥 Material examined: n = 3, subtidal St. 1, 3 and 5

Order Neogastropoda 신복족목

Family Buccinidae 물레고둥과

62. *Kelletia lischkei* 매편이고둥 Material examined: n = 16, subtidal St. 7 and 11
 63. *Neptunea cumingi* 갈색띠매물고둥 Material examined: n = 3, subtidal St. 11
 64. *Searlesia modesta* 긴뿔매물고둥 Material examined: n = 9, subtidal St. 1 and 9

Family Columbellidae 무릅과

65. *Mitrella bicincta* 보리무릅 Material examined: n = 257, subtidal St. 1, 3, 4, 5, 7 and 9
 66. *Zafra mitriformis* 붓솔무릅 Material examined: n = 56, subtidal St. 4 and 11

Family Cancellariidae 감생이고둥과

67. *Cancellaria nodulifera* 주름감생이 Material examined: n = 1, subtidal St. 11

Family Muricidae 뿔소라과

68. *Lataxiena fimbriata* 잔가시뿔고둥 Material examined: n = 32, subtidal St. 1, 3, 5, 7 and 9
 69. *Ceratostoma burnetti* 입뿔고둥 Material examined: n = 20, intertidal St. 6, subtidal St. 1, 3 and 11
 70. *Genkaimurex varicosus* 주름뿔고둥 Material examined: n = 7, subtidal St. 7
 71. *Ocinebrellus inornatus* 어깨뿔고둥 Material examined: n = 3, subtidal St. 3 and 9
 72. *Ocinebrellus lumarius* 주름어깨뿔고둥 Material examined: n = 6, subtidal St. 1 and 7

73. *Reishia bronni* 두드럭고둥 Material examined: n = 62, intertidal St. 4, subtidal St. 1, 3, 4, 5 and 7

74. *Reishia clavigera* 대수리 Material examined: n = 28, intertidal St. 2 and 5

75. *Reishia luteostoma* 뿔두드럭고둥 Material examined: n = 2, intertidal St. 4

Family Triphoridae 띠줄고둥과

76. *Bouchettriphora* cf. *otsuensis* 좁쌀띠줄고둥 Material examined: n = 3, subtidal St. 3
 77. *Litharium* cf. *kurodai* 농갈색띠줄고둥 Material examined: n = 1, subtidal St. 7

Order unassigned

Family Pyramidellidae 회오리고둥과

78. *Odostomia aomori* 두툼회오리고둥 Material examined: n = 5, subtidal St. 5 and 7

Order Anaspidae 무순목

Family Aplysiidae 군소과

79. *Aplysia kurodai* 군소 Material examined: n = 8, subtidal St. 4 and 11
 80. *Aplysia parvula* 검은테군소 Material examined: n = 3, subtidal St. 4
 81. *Aplysia* sp. (*sagamiana*) 갈색군소류 Material examined: n = 3, subtidal St. 11

Order Nudibranchia 나새목

Family Facelinidae 하늘소갯민숭이과

82. *Hermisenda crassicornis* 하늘소갯민숭이 Material examined: n = 1, subtidal St. 11

Family Cadlinidae 노란테갯민숭달팽이과

83. *Aldisa cooperi* 점박이붉은갯민숭달팽이 Material examined: n = 1, subtidal St. 11
 84. *Cadlina luteomarginata* 노랑테갯민숭달팽이 Material examined: n = 5, subtidal St. 11

Family Chromodorididae 갯민숭달팽이과

85. *Chromodoris orientalis* 흰갯민숭달팽이 Material examined: n = 3, subtidal St. 11
 86. *Glossodoris misakinobogae* 꼬마흰갯민숭달팽이 Material examined: n = 1, subtidal St. 11
 87. *Goniobranchus tinctorius* 망사갯민숭달팽이 Material

examined: n = 20 subtidal St. 11

Order unassigned

Family Siphonariidae 고랑딱개비과

88. *Siphonaria japonica* 고랑딱개비 Material examined: n = 113, intertidal St. 3, 4, 5, 6, 7 and 8

Class Bivalvia 이매패강

Order Nucleoidea 애호두조개목

Family Nuculidae 애호두조개과

89. *Acila divaricata* 애호두조개 Material examined: n = 7, intertidal St. 10 and subtidal St. 11

Order Mytiloidea 홍합목

Family Mytilidae 홍합과

90. *Arcuatula senhousia* 종뿔 Material examined: n = 1, subtidal St. 5

91. *Brachidontes mutabilis* 주름담치 Material examined: n = 1, intertidal St. 9

92. *Lithophaga curta* 애기돌맞조개 Material examined: n = 95, subtidal St. 1, 3, 4, 5, 7 and 9

93. *Modiolus auriculatus* 깃털담치 Material examined: n = 117, subtidal St. 4 and 11

94. *Modiolus kurilensis* 털담치 Material examined: n = 791, subtidal St. 1, 3, 5 and 7

95. *Modiolus* sp. 털담치류 Material examined: n = 3, subtidal St. 3

96. *Musculus cupreus* 작은계란담치 Material examined: n = 2, subtidal St. 3 and 5

97. *Musculista* sp. 홍합류 Material examined: n = 1, subtidal St. 7

98. *Mytilisepta keenae* 격판담치 Material examined: n = 14, intertidal St. 4, subtidal St. 1, 3 and 5

99. *Mytilisepta virgata* 굵은줄격판담치 Material examined: n = 2, subtidal St. 11

100. *Mytilus galloprovincialis* 지중해담치 Material examined: n = 17, intertidal St. 4 and subtidal St. 9

101. *Mytilus unguiculatus* 홍합 Material examined: n = 75, intertidal St. 1, 2, 5 and 6

102. *Mytilidae* 홍합류 Material examined: n = 1, subtidal St. 3

103. *Septifer* cf. *bilocularis* 남방담치류 Material examined: n = 1, subtidal St. 7

104. *Septifer* sp. 남방담치류 Material examined: n = 3,

subtidal St. 71

Order Arcoida 돌조개목

Family Arcidae 돌조개과

105. *Arca boucardi* 긴네모돌조개 Material examined: n = 81, subtidal St. 1, 3, 5 and 7

Order Ostreoida 굴목

Family Ostreidae 굴과

106. *Crassostrea nippona* 바위굴 Material examined: n = 36, subtidal St. 1, 3, 5 and 7

107. *Hyotissa* sp. 중국굴류 Material examined: n = 1, subtidal 7

Order Pectinida 가리비목

Family Pectinidae 가리비과

108. *Chlamys farreri nipponensis* 비단가라비 Material examined: n = 2, subtidal St. 7

Family Spondylidae 국화조개과

109. *Spondylus butleri* 가시국화조개 Material examined: n = 2, subtidal St. 4

Order Carditida 주름방사륜조개목

Family Carditidaedae 주름방사륜조개과

110. *Cardita leana* 주름방사륜조개 Material examined: n = 5, subtidal St. 7

Family Kellidae 큰집가재더부살이조개과

111. *Kellia porculus* 아기가재더부살이조개 Material examined: n = 11, subtidal St. 7

Family Lasaeidae 가재더부살이조개과

112. *Lasaea undulata* 족사살이조개 Material examined: n = 29, intertidal St. 1, 4 and 5

Family Montacutidae 더부살이조개과

113. *Nipponomysella obesa* 작은더부살이조개 Material examined: n = 3, subtidal St. 9

Order Lucinida 꽃잎조개목

Family Lucinidae 꽃잎조개과

114. *Divaricella soyoae* 쌍가르마꽃잎조개 Material examined: n = 10, subtidal St. 7

- Order Myoida 우럭목 examined: n = 101, subtidal St. 1, 3, 5, 7 and 9
 Family Myidae 우럭과
 115. *Paramya* cf. *recluzi* 얇은꼬마우럭 Material examined: n = 2, subtidal St. 5
 Family Corbulidae 쇄방사늑조개과
 116. *Corbulidae* sp. 쇄방사늑조개류 Material examined: n = 8, subtidal St. 1, 3, 5 and 8
 Order Venerida 백합목
 Family Chamidae 굴아재비과
 117. *Pseudochama retroversa* 보라원돌이굴아재비 Material examined: n = 2, subtidal St. 4
 Family Trapeziidae 돌고부지과
 118. *Neotrapezium liratum* 돌고부지 Material examined: n = 101, subtidal St. 1, 3, 5, 7 and 9
 Family Ungulinidae 돌살이조개과
 119. *Phlyctiderma japonicum* 후각돌살이조개 Material examined: n = 6, subtidal St. 4
 Family Veneridae 백합과
 120. *Irus irus* 굵은주름입조개 Material examined: n = 59, subtidal St. 1, 3, 4, 5, 7 and 9
 121. *Leukoma jedoensis* 살조개 Material examined: n = 5, subtidal St. 4
 Order Gastrochaenida 구멍뚫이조개목
 Family Gastrochaenidae 구멍뚫이조개과
 122. *Gastrochaena cuneiformis* 구멍뚫이조개 Material examined: n = 2, subtidal St. 4

Table 1. Marine Mollusca appearing in the rocky intertidal in Uljin

Species name	2012.08	2013.02	2017.04	Plate
<i>Onithochiton hirasei</i>	+			Pl. 1, Fig. F
<i>Nodilittorina</i> cf. <i>vidua</i>		+		
<i>Cellana grata</i>	+	+		Pl. 1, Fig. I
<i>Cellana toreuma</i>	+			Pl. 1, Fig. J
<i>Cellana</i> sp.		+		
<i>Lottia dorsuosa</i>	+	+		Pl. 1, Fig. K
<i>Lottia luchuana</i>	+			Pl. 2, Fig. A
<i>Lottia kogamogai</i>	+			Pl. 2, Fig. B
<i>Lottia tenuisculpta</i>	+	+		Pl. 2, Fig. C
<i>Lottia</i> sp.		+		
<i>Acmaea schrenckii</i>	+	+		Pl. 2, Fig. D
<i>Monodonta neritoides</i>	+			Pl. 2, Fig. J
<i>Omphalius pfeifferi pfeifferi</i>			+	Pl. 3, Fig. J
<i>Echinolittorina radiata</i>	+			Pl. 3, Fig. M
<i>Littorina brevicula</i>	+	+		Pl. 4, Fig. A
<i>Peasiella habeii</i>	+	+		Pl. 4, Fig. B
<i>Cryptonatica russa</i>			+	Pl. 4, Fig. C
<i>Cryptonatica</i> sp. (<i>andoi</i>)			+	
<i>Ansola angustata</i>		+		Pl. 4, Fig. E
<i>Fusitriton galea</i>			+	Pl. 4, Fig. G
<i>Reishia bronni</i>	+			Pl. 5, Fig. G
<i>Reishia clavigera</i>	+			Pl. 5, Fig. H
<i>Siphonaria japonica</i>	+	+		Pl. 6, Fig. F
<i>Acila divaricata</i>			+	Pl. 6, Fig. G
<i>Brachidontes mutabilis</i>		+		Pl. 6, Fig. I
<i>Mytilisepta keenae</i>		+		Pl. 7, Fig. B
<i>Mytilus galloprovincialis</i>		+		Pl. 7, Fig. D
<i>Mytilus unguiculatus</i>	+	+		Pl. 7, Fig. E
<i>Lasaea undulata</i>	+	+		Pl. 7, Fig. J

Table 2. Marine Mollusca appearing in the rocky subtidal in Uljin

Species name	'12.08	'17.04	'17.08	'23.04	'23.07	'23.10	'24.02	Plate
<i>Acanthochitona achates</i>	+	+						Pl. 1, fig. A
<i>Mopalia retifera</i>	+							Pl. 1, fig. B
<i>Mopalia schrencki</i>							+	
<i>Plaxiphora integra</i>	+							Pl. 1, fig. C
<i>Tonicella zotini</i>	+							Pl. 1, fig. D
<i>Chiton kurodai</i>		+						Pl. 1, fig. E
<i>Onithochiton hirasei</i>	+							Pl. 1, fig. F
<i>Ischnochiton comptus</i>	+	+						Pl. 1, fig. G
<i>Ischnochiton boninensis</i>		+						Pl. 1, fig. H
<i>Fusolatirus coreanicus</i>			+					
<i>Marmorofusus tuberosus</i>							+	
<i>Muricidae</i> sp.	+							
<i>Cellana grata</i>		+						Pl. 1, fig. I
<i>Cellana toreuma</i>	+						+	Pl. 1, fig. J
<i>Cryptobranchia alba</i>	+							
<i>Lottia luchuana</i>	+							Pl. 2, fig. A
<i>Lottia kogamogai</i>	+							Pl. 2, fig. B
<i>Acmaea schrenckii</i>	+							Pl. 2, fig. D
<i>Niveotectura Pallida</i>	+	+						Pl. 2, fig. E
<i>Macroschisma sinense</i>				+				
<i>Scelidotoma gigas</i>		+						Pl. 2, fig. F
<i>Tugali decussata</i>	+							Pl. 2, fig. G
<i>Cantharidus callichroa</i>	+							Pl. 2, fig. H
<i>Cantharidus jessoensis</i>	+			+	+	+	+	Pl. 2, fig. I
<i>Clanculus cognatus</i>	+							Pl. 2, fig. K
<i>Lirularia iridescens</i>	+				+	+	+	Pl. 3, fig. A
<i>Lirularia pygmaea</i>	+		+				+	Pl. 3, fig. B
<i>Turbo cornutus</i>		+			+			Pl. 3, fig. C
<i>Calliostoma multiliratum</i>	+					+		Pl. 3, fig. D
<i>Tristichotrochus unicus</i>	+				+			Pl. 3, fig. E
<i>Chlorostoma rugatum sublaevis</i>	+	+						Pl. 3, fig. F
<i>Chlorostoma lischkei</i>		+						Pl. 3, fig. G
<i>Chlorostoma turbinatum</i>		+			+			Pl. 3, fig. H
<i>Omphalius pfeifferi carpenter</i>	+				+			Pl. 3, fig. I
<i>Omphalius pfeifferi pfeifferi</i>		+			+			Pl. 3, fig. J
<i>Bothropoma pilula</i>	+							Pl. 3, fig. K
<i>Crepidula onyx</i>	+	+		+	+	+	+	Pl. 3, fig. L
<i>Lacuna smithii</i>	+							
<i>Lacuna turrita</i>					+		+	
<i>Bulbus smithii</i>	+							
<i>Glossaulax</i> sp.		+						
<i>Alvania plicosa</i>	+							Pl. 4, fig. D
<i>Ansola angustata</i>	+							Pl. 4, fig. E
<i>Monoplex parthenopeus</i>		+						Pl. 4, fig. F
<i>Pelseneeria castanea</i>	+							
<i>Cheilea cepacea</i>	+							Pl. 4, fig. H
<i>Lamellaria kiiensis</i>	+							
<i>Lamellaria</i> sp.	+							
<i>Thylacodes adamsii</i>	+							Pl. 4, fig. I

Species name	'12.08	'17.04	'17.08	'23.04	'23.07	'23.10	'24.02	Plate
<i>Kelletia lischkei</i>	+	+						Pl. 4, fig. J
<i>Neptunea cumingi</i>		+						Pl. 4, fig. K
<i>Searlesia modesta</i>	+							Pl. 4, fig. L
<i>Mitrella bicincta</i>	+			+	+	+	+	Pl. 5, fig. A
<i>Zafra mitriformis</i>			+	+	+	+		
<i>Cancellaria nodulifera</i>		+						Pl. 5, fig. B
<i>Lataxiena fimbriata</i>	+							Pl. 5, fig. C
<i>Ceratostoma burnetti</i>	+	+						Pl. 5, fig. D
<i>Genkaimurex varicosus</i>	+							
<i>Ocinebrellus inornatus</i>	+							Pl. 5, fig. E
<i>Ocinebrellus lumarius</i>	+							Pl. 5, fig. F
<i>Reishia bronni</i>	+			+	+			Pl. 5, fig. G
<i>Reishia luteostoma</i>							+	
<i>Bouchettriphora</i> cf. <i>otsuensis</i>	+							Pl. 5, fig. I
<i>Litharium</i> cf. <i>kurodai</i>	+							Pl. 5, fig. J
<i>Odostomia aomori</i>	+							Pl. 5, fig. K
<i>Aplysia kurodai</i>		+		+				Pl. 6, fig. A
<i>Aplysia parvula</i>						+	+	
<i>Aplysia</i> sp. (<i>sagamiana</i>)		+						
<i>Hermisenda crassicornis</i>		+						Pl. 6, fig. B
<i>Aldisa cooperi</i>		+						Pl. 6, fig. C
<i>Cadlina luteomarginata</i>			+					
<i>Chromodoris orientalis</i>		+						Pl. 6, fig. D
<i>Glossodoris misakinobogae</i>		+						Pl. 6, fig. E
<i>Goniobranchus tinctorius</i>			+					
<i>Acila divaricata</i>		+						Pl. 6, fig. G
<i>Arcuatula senhousia</i>	+							Pl. 6, fig. H
<i>Lithophaga curta</i>	+						+	Pl. 6, fig. J
<i>Modiolus auriculatus</i>		+	+	+			+	Pl. 6, fig. K
<i>Modiolus kurilensis</i>	+							Pl. 6, fig. L
<i>Modiolus</i> sp.	+							
<i>Musculus cupreus</i>	+							Pl. 7, fig. A
<i>Musculista</i> sp.	+							
<i>Mytilisepta keenae</i>	+							Pl. 7, fig. B
<i>Mytilisepta virgata</i>		+						Pl. 7, fig. C
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	+							Pl. 7, fig. D
<i>Mytilus unguiculatus</i>	+							Pl. 7, fig. E
<i>Mytilidae</i>	+							
<i>Septifer</i> cf. <i>bilocularis</i>	+							
<i>Septifer</i> sp.	+							
<i>Arca boucardi</i>	+							Pl. 7, fig. F
<i>Crassostrea nippona</i>	+							Pl. 7, fig. G
<i>Hytissa</i> sp.	+							
<i>Chlamys farreri nipponensis</i>	+							
<i>Spondylus butleri</i>							+	
<i>Cardita leana</i>	+							Pl. 7, fig. H
<i>Kellia porculus</i>	+							Pl. 7, fig. I
<i>Nipponomysella obesa</i>	+							Pl. 7, fig. K
<i>Divaricella soyoae</i>	+							Pl. 7, fig. L
<i>Paramya</i> cf. <i>recluzi</i>	+							Pl. 7, fig. M

Species name	'12.08	'17.04	'17.08	'23.04	'23.07	'23.10	'24.02	Plate
<i>Corbulidae</i> sp.	+							
<i>Pseudochama retroversa</i>							+	
<i>Neotrapezium liratum</i>	+							Pl. 7, fig. N
<i>Phlyctiderma japonicum</i>							+	
<i>Irus irus</i>	+						+	
<i>Leukoma jedoensis</i>				+				
<i>Gastrochaena cuneiformis</i>							+	
<i>Enteroctopus</i> sp. 1		+						
<i>Enteroctopus</i> sp. 2		+						

Class Cephalopoda 두족강

Order Octopoda 문어목

Family Octopodidae 문어과

123. *Enteroctopus* sp. 1 문어류 Material examined: n = 1, subtidal St. 11

124. *Enteroctopus* sp. 2 문어류 Material examined: n = 1, subtidal St. 1

3. 조간대 종 출현 목록

울진 암반 조간대에서 출현한 연체동물은 다판강 1종, 복족강 총 22종, 이미패강 총 6종으로 총 29종이 출현하였다. 2012년 8월에는 총 17종이 출현하였고, 2013년 2월에는 총 16종이 출현하였으며, 2017년 4월에는 총 5종이 출현하였다.

3회의 조사 중 2회 이상 출현한 종은 진주배말 (*Cellana grata*), 두드럭배말 (*Lottia dorsuosa*), 흰무늬배말 (*Lottia tenuisculpta*), 배루래기 (*Acmaea schrenckii*), 총알고둥 (*Littorina brevicula*), 난쟁이총알고둥 (*Peasiella habei*), 고랑딱개비 (*Siphonaria japonica*), 홍합 (*Mytilus unguiculatus*), 죽사살이조개 (*Lasaea undulata*) 로 총 9종이었다 (Table 1).

4. 조하대 종 출현 목록

울진 암반 조하대에서 출현한 연체동물은 다판강 총 9종, 복족강 총 65종, 이미패강 총 32종, 두족강 총 2종으로 총 108종이 출현하였다. 2012년 8월에는 총 68종, 2017년 4월에는 총 27종, 2017년 8월에는 총 6종, 2023년 4월에는 총 9종, 7월에는 총 11종, 10월에는 총 9종, 2024년 2월에는 총 18종이 출현하였다.

7회의 조사 중 6회 출현한 종은 뚱뚱이짚신고둥 (*Crepidula onyx*) 이었으며, 5회 출현한 종은 둥근입얼룩고둥 (*Cantharidus jessoensis*), 보리무룩 (*Mitrella bicincta*) 이었고, 4회 출현한 종은 새끼밤고둥 (*Lirularia iridescens*), 붓솔무룩 (*Zafra mitriformis*), 깃털담치 (*Modiolus auriculatus*) 였다.

2012년 8월 조사와 2023년 7월의 출현 종을 비교하였을 경

우, 약 10년 후 새롭게 출현한 종은 소라 (*Turbo cornutus*), 구멍밤고둥 (*Chlorostoma turbinatum*), 바다방석고둥 (*Omphalius pfeifferi pfeifferi*), 방울고둥 (*Lacuna turrita*), 붓솔무룩 (*Zafra mitriformis*) 으로 총 5종이 새롭게 출현하였다. 2017년 4월과 2023년 4월의 출현 종을 비교하였을 경우, 약 8년 후 새롭게 출현한 종은 흰구멍삿갓조개 (*Macroschisma sinense*), 둥근입얼룩고둥 (*Cantharidus jessoensis*), 보리무룩 (*Mitrella bicincta*), 붓솔무룩 (*Zafra mitriformis*), 두드럭고둥 (*Reishia bronni*), 살조개 (*Leukoma jedoensis*) 로 총 6종이 새롭게 출현하였다 (Table 2).

5. 울진 연체동물 우점종

울진 연안에서 출현한 우점종 10종을 살펴보면, 최우점종은 복족강 총알고둥목 총알고둥과 좁쌀무늬총알고둥 (*Echinolittorina radiata*) 으로 St. 10을 제외한 조간대 전 정점에서 출현하였으며, 1,170 ind/m², 26.8%로 나타났다. 차우점종은 이미패강 홍합목 홍합과 털담치 (*Modiolus kurilensis*) 로 조하대 정점 1, 3, 4, 5, 7, 9에서 출현하였으며, 791 ind/m², 18.1%로 나타났다. 이 두 종은 전체 개체수의 절반에 가까운 비중을 차지하여 울진 연안 연체동물 군집에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 세 번째 우점종은 복족강 두드럭배말과 두드럭배말 (*Lottia dorsuosa*) 로 276 ind/m², 6.3%, 네 번째 우점종은 복족강 신복족목 무룩과 보리무룩 (*Mitrella bicincta*) 으로 257 ind/m², 5.9%, 다섯 번째 우점종은 복족강 고랑딱개비과 고랑딱개비 (*Siphonaria japonica*) 로 113 ind/m², 2.6%, 여섯 번째 우점종은 이미패강 홍합목 홍합과 깃털담치 (*Modiolus auriculatus*) 로 106 ind/m², 2.4%, 일곱 번째 우점종은 이미패강 백합목 돌고부지와 돌고부지 (*Neotrapezium liratum*) 로 101 ind/m², 2.3%, 여덟 번째 우점종은 복족강 등구멍고둥목 밤고둥과 햇살밤고둥 (*Lirularia pygmaea*) 으로 96 ind/m², 2.2%, 아홉 번째 우점종은 이미패강 홍합목 홍합과 애기돌맛조개 (*Lithophaga curta*) 로 90 ind/m², 2.1%, 열 번째 우점종은 복족강 등구멍고둥목 밤고둥과 둥근입얼룩고둥 (*Cantharidus*

Table 3. Marine Mollusca Dominant Species in Uljin

Class	Order	Family	Species	ind/m ²	%
Gastropoda	Littorinimorpha	Littorinidae	<i>Echinolittorina radiata</i>	1170	26.8
Bivalvia	Mytiloidea	Mytilidae	<i>Modiolus kurilensis</i>	791	18.1
Gastropoda	unassigned	Lottidae	<i>Lottia dorsuosa</i>	276	6.3
Gastropoda	Neogastropoda	Columbellidae	<i>Mitrella bicincta</i>	257	5.9
Gastropoda	unassigned	Siphonariidae	<i>Siphonaria japonica</i>	113	2.6
Bivalvia	Mytiloidea	Mytilidae	<i>Modiolus auriculatus</i>	106	2.4
Bivalvia	Venerida	Trapeziidae	<i>Neotrapezium liratum</i>	101	2.3
Gastropoda	unassigned	Trochoidae	<i>Lirularia pygmaea</i>	96	2.2
Bivalvia	Mytiloidea	Mytilidae	<i>Lithophaga curta</i>	90	2.1
Gastropoda	unassigned	Trochoidae	<i>Cantharidus jessoensis</i>	87	2.0

jessoensis) 으로 87 ind/m², 2.0%로 나타났다 (Table 3).

결론

본 연구는 울진 암반 기질 해역을 대상으로 약 12년간 총 8 차례에 걸친 장기 모니터링을 통해 연체동물의 다양성과 분포 특성을 종합적으로 분석하였다. 조사 결과, 총 4강 17목 55과 124종의 연체동물이 확인되었으며, 복족강 (Gastropoda) 이 79종 (63.7%) 으로 가장 높은 종 다양성을 나타내어 암반 기질 환경에서 복족강이 우세한 분류군임을 확인하였다.

수직 분포 분석 결과, 조간대 29종, 조하대 108종이 출현하여 뚜렷한 서식처별 종 조성 차이를 보였다. 조무래기따개비 (*Chthamalus challenger*), 좁쌀무늬총알고둥 (*Echinolittorina radiata*), 두드럭배말 (*Lottia dorsuosa*), 뚱뚱이짚신고둥 (*Crepidula onyx*), 둥근입얼룩고둥 (*Cantharidus jessoensis*), 보리무룩 (*Mitrella bicincta*), 고랑딱개비 (*Siphonaria japonica*) 등은 여러 지역에서 반복 출현하여 울진 연안 암반 생태계의 핵심 구성종임을 확인하였다. 특히 최우점종인 좁쌀무늬총알고둥은 조간대 바위 표면에 군집을 형성하며 고온·고염분·파랑 환경에 대한 높은 내성을 보이고 (Jung *et al.*, 2021; Na *et al.*, 2021), 차우점종인 털담치 (*Modiolus kurilensis*) 는 생태계 구조종 (ecosystem engineer) 으로서 다른 생물에게 서식처를 제공하는 중요한 역할을 수행하고 있다 (Gormley *et al.*, 2015).

장기모니터링을 통해 소라 (*Turbo cornutus*), 구멍밤고둥 (*Chlorostoma turbinatum*), 바다방석고둥 (*Omphalius pfeifferi pfeiffer*), 방울고둥 (*Lacuna turrita*), 붓솔무룩 (*Zafra mitriformis*), 흰구멍삿갓조개 (*Macroschisma sinense*), 둥근입얼룩고둥 (*Cantharidus jessoensis*), 보리

무룩 (*Mitrella bicincta*), 두드럭고둥 (*Reishia bronni*), 살조개 (*Leukoma jedoensis*) 총 10종의 신규 출현종을 확인하였다. 특히 아열대성 종인 소라의 출현은 주목할 만한 결과로, Kojima *et al.* (1997) 과 이 (2018) 에 따르면 소라류는 쿠로시오 해류를 따라 분포하는 전형적인 아열대성 생물로 알려져 있어, 기후변화에 따른 수온 상승이 동해안 연체동물 군집에 미치는 영향을 시사하는 중요한 생태학적 지표로 판단된다. 이는 최근 동해 생태계에서 관찰되는 지구온난화와 해양산성화의 영향과 일치하는 결과이다 (Kim *et al.*, 2004; Yoon *et al.*, 2007; Ju, 2010; Lee *et al.*, 2024).

본 연구 결과는 울진 연안이 해양 연체동물 생물다양성 보전에 매우 중요한 역할을 하고 있음을 입증한다. 기후변화에 따른 종 조성 변화와 새로운 종의 유입이 관찰되고 있어, 장기적이고 체계적인 모니터링을 통해 해양생태계 변화 추이를 지속적으로 추적할 필요가 있다. 따라서 동해안 해양 연체동물 자원의 지속 가능한 이용과 보전을 위해서는 계절별 변화 및 분포 양상에 대한 체계적 이해를 바탕으로 한 과학적 관리 방안 수립이 필요하다.

요약

본 연구는 경북 울진 연안 암반 생태계의 연체동물 다양성과 분포를 장기적으로 조사하였다. 2012-2024년 11개 정점에서 8차례 조사 결과, 4강 17목 55과 124종이 확인되었으며, 복족강이 가장 높은 종 다양성을 보였다. 조간대와 조하대에서 종 조성 차이가 뚜렷하였고, 좁쌀무늬총알고둥과 털담치가 주요 우점종으로 확인되었다. 장기 모니터링에서 아열대성 소라의 신규 출현은 기후변화로 인한 수온 상승의 영향을 반영한다. 본 연구는 울진 연안 암반 생태계의 연체동물 다양성 기초 자료와 기후변화 영향 평가의 근거를 제시한다.

사 사

본 연구는 한국해양과학기술원 주요과제 (PEA0305) 와 기본사업 (PO01544) 의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Boo, S.M. (1987) Distribution of marine algae from shore area of Kangwon province. *The Korean Journal of Phycology*, **2**(2): 223-235
- Choi, B.L. (1992) Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea Vol. 33 Mollusca (II). Ministry of Education.
- Choi, J.-W., and Seo, J.-Y. (2007) Application of Biotic Indices to Assess the Health Condition of Benthic Community in Masan Bay, Korea. *Ocean and Polar Research*, **29**: 339-348.
- Commuto, J.A., Celano, E.A., Celico, H.J., Como, S. and Johnson, C.P. (2005) Mussels matter: postlarval dispersal dynamics altered by a spatially complex ecosystem engineer. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **316**: 133-147.
- Gong, Y. and Son, S.J. (1982) The study of the study on the marine thermo-front in the east sea of Korea. *Reports of the National Fisheries Research and Development Institute*, **28**: 24-25.
- Gormley, K., Mackenzie, C., Robins, P., Coscia, I., Cassidy, A., James, J., Hull, A., Piertney, S., Sanderson, W. and Porter, J. (2015) Connectivity and dispersal patterns of protected biogenic reefs: Implications for the conservation of *Modiolus modiolus* (L.) in the Irish Sea. *PLoS ONE*, **10**(12): e0143337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143337>
- Green, M.A., Jones, M.E., Boudreau, C.L., Moore, R.L. and Westman, B.A. (2004) Dissolution mortality of juvenile bivalves in coastal marine deposits. *Limnology and Oceanography*, **49**: 727-734.
- Gutierrez, J.L., Jones, C.G., Strayer, D.L. and Iribarne, O.O. (2003) Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats. *Oikos*, **101**: 79-90.
- Helmuth, B., Mieszkowska, N., Moore, P. and Hawkins, S.J. (2006) Living on the edge of two changing worlds: forecasting the responses of rocky intertidal ecosystems to climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **37**: 373-404.
- Hwang, K., Seo, I.-S., Choi, B.-M., Lee, H.N., Oh, C.W., Kim, M.H., Choi, C.G. and Na, J.H. (2014) Community structure of macrobenthic assemblages near Uljin Marine Ranching Area, East Sea of Korea. *Korean Journal of Environmental Biology*, **32**(4): 286-296.
- Ju S.J. (2010) Effect of climate change and ocean acidification on marine ecosystem. Workshop of marine climate change adaptation. 21-26.
- Jung, S.W., Kim, Y.H., Lee, J.H., Kim, D.G., Kim, M.K. and Kim, H.M. (2022) Biodiversity changes and community characteristics of benthic macroinvertebrates in weir section of the Nakdong River, South Korea. *Korean Journal of Environmental Ecology*, **36**(2): 150-164.
- Jung, S.W., Rho, H.S., Lee, H., Park, J.M., Min W., Moon, H.W., Kim, H.J. and Choi, C.G. (2021) Behavioral repertoire of high-shore littorinid snails reveals novel adaptations to an extreme environment. *Aquatic Nature*, **1**(2): 89-126.
- Kim, T.-K., Cho, H.-Y. and Lee, G.-S. (2024) Seasonal and vertical distribution differences test in seawater temperature and dissolved oxygen concentration along the East Sea coast using marine environmental monitoring network data. *Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy*, **27**(1): 14-27.
- Koh D.B. (2006) Sea Slugs of Korea. Pungdeung Publishing Company.
- Kojima, S., Segawa, R., and Hayashi, I. (1997) Genetic differentiation among populations of the Japanese turban shell *Turbo (Batillus) cornutus* corresponding to warm currents. *Marine Ecology Progress Series*, **150**: 149-155.
- Korea Meteorological Administration. Meteorological observation data (Internet). (2025) (cited 2025 Aug. 20). Available from: <https://www.kma.go.kr>
- Lee J.S. (2016) List of Korean Mollusks. Institute of Environmental Research Kangwon National University. The Malacological Society of Korea.
- Lee, J.Y., Kang, D.J., Kim, I.N., Rho, T. Lee, T., Kang, C.K. and Kim, K.R. (2009) Spatial and temporal variability in the pelagic ecosystem of the East Sea (Sea of Japan): A review. *Journal of Marine Systems*, **78**: 288-300.
- Lee, M.O., Kim, J.K. and Kim, B.K. (2024) Characteristics of sea surface temperature (SST) and sea level rise (SLR) in the Korean coastal waters. *Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy*, **27**(3): 167-177.
- Lu, L., Grant, J., and Barrell, J. (2008) Macrofaunal spatial patterns in relationship to environmental variables in the Richibucto estuary, *Estuar Coast*, **31**: 994-1005.
- Malmqvist, B. (2002) Aquatic invertebrates in riverine landscapes. *Freshwater Biology*, **47**: 679-694.
- Merritt, R.W., Cummins, K.W. and Berg, M.B. (2008) An Introduction to the Aquatic Insects of North America (4th ed.). Kendall/Hunt Publish. Co. Dubuque, Iowa, 1158 pp.
- Mieszkowska, N., Kendall, M.A., Hawkins, S.J., Leaper, R., Williamson, P., Hardman-Mountford, N.J. and Southward, A.J. (2006) Changes in the range of some common rocky shore species in Britain—a response to climate change? *Hydrobiologia*, **555**: 241-251.
- Min D.K., Lee J.S., Koh D.B. and Je J.K. (2004) Mollusks in Korea. Min Molluscan Research Institute. Hangeul Publishing Company.

- Ministry of Oceans and Fisheries. Marine Environmental Monitoring Network data (Internet). (2025) (cited 2025 Aug. 20). Available from: <http://www.meis.go.kr>
- MOMAF (Ministry of Maritime Affairs and Fisheries). (2005) Studies on the development of marine ranching program 2005 in the east, west and Jeju coast of Korea. 1051.
- Nakaoka, M. (2000) Nonlethal effects of predators on prey populations: predator-mediated change in bivalve growth rate. *Ecology*, **81**: 1031-1045.
- Ng, T.P.T., Lau, S.L.Y., Davies, M.S., Stafford, R., Seuront, L., Hutchinson, N., Hui, T.T.Y. and Williams, G.A. (2021) Behavioral repertoire of high-shore littorinid snails reveals novel adaptations to an extreme environment. *Ecology and Evolution*, **11**(12): 7114-7124.
- Naganuma, K. (2000) The Sea of Japan as the natural environment of marine organisms. *Bulletin of the Japan Sea National Fisheries Research Institute*, **50**: 1-42.
- Park, J.S., Lee, S.S., Kang, Y.S. and Huh, S.H. (1991) Distribution of indicator species of copepods and chaetognaths in the middle east sea of Korea and their relationships to the characteristics of water masses. *Bulletin of the Korean Fishery Technology Society*, **24**: 203-212.
- Paik, S.-G., Kang, R.-S., Jeon, J.O., Lee, J.-H. and Yun, S.G. (2007) Distribution patterns of sandy bottom macrobenthic community on the Hupo coastal area, in the East Sea of Korea. *Ocean and Polar Research*, **29**(2): 123-134.
- Takashi O. (2000) Marine mollusks in Japan. Tokai University Press.
- Wildsmith, M.D., Rose, T.H., Potter, I.C., Warwick, R.M., Clarke, K.R. and Valesini, F.J. (2009) Changes in the benthic macroinvertebrate fauna of a large microtidal estuary following extreme modifications aimed at reducing eutrophication. *Marine Pollution Bulletin*, **58**: 1250-1262
- Yoon Y.Y., Jung S.J. and Yoon S.C. (2007) Characteristics and long term variation trend of water mass in the coastal part of East Sea, Korea. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, **10**(1): 59-65.
- 이준상. (2018) 대한민국 생물지 한국의 무척추동물 제 19권 6호 복족류V 연체동물문: 복족강: 신복족목: 뿔소라과. 국립생물자원관. 인천. [in Korean]
- 이준상. (2019) 대한민국 생물지 한국의 무척추동물 제 19권 7호 이매패류III 연체동물문: 이매패강: 석패목: 석패과, 백합목: 거자씨조개과, 돌고부지과, 재첩과, 새알조개과, 산골과, 능선조개과, 백합과. 국립생물자원관. 인천. [in Korean]
- 이준상. (2020) 대한민국 생물지 한국의 무척추동물 제 19권 8호 복족류VI 연체동물문: 복족강: 두드럭배말상과: 무새흰삿갓조개과, 두드럭배말과, 애기삿갓조개과, 그물삿갓조개과, 삿갓조개상과: 삿갓조개과. 국립생물자원관. 인천. [in Korean]

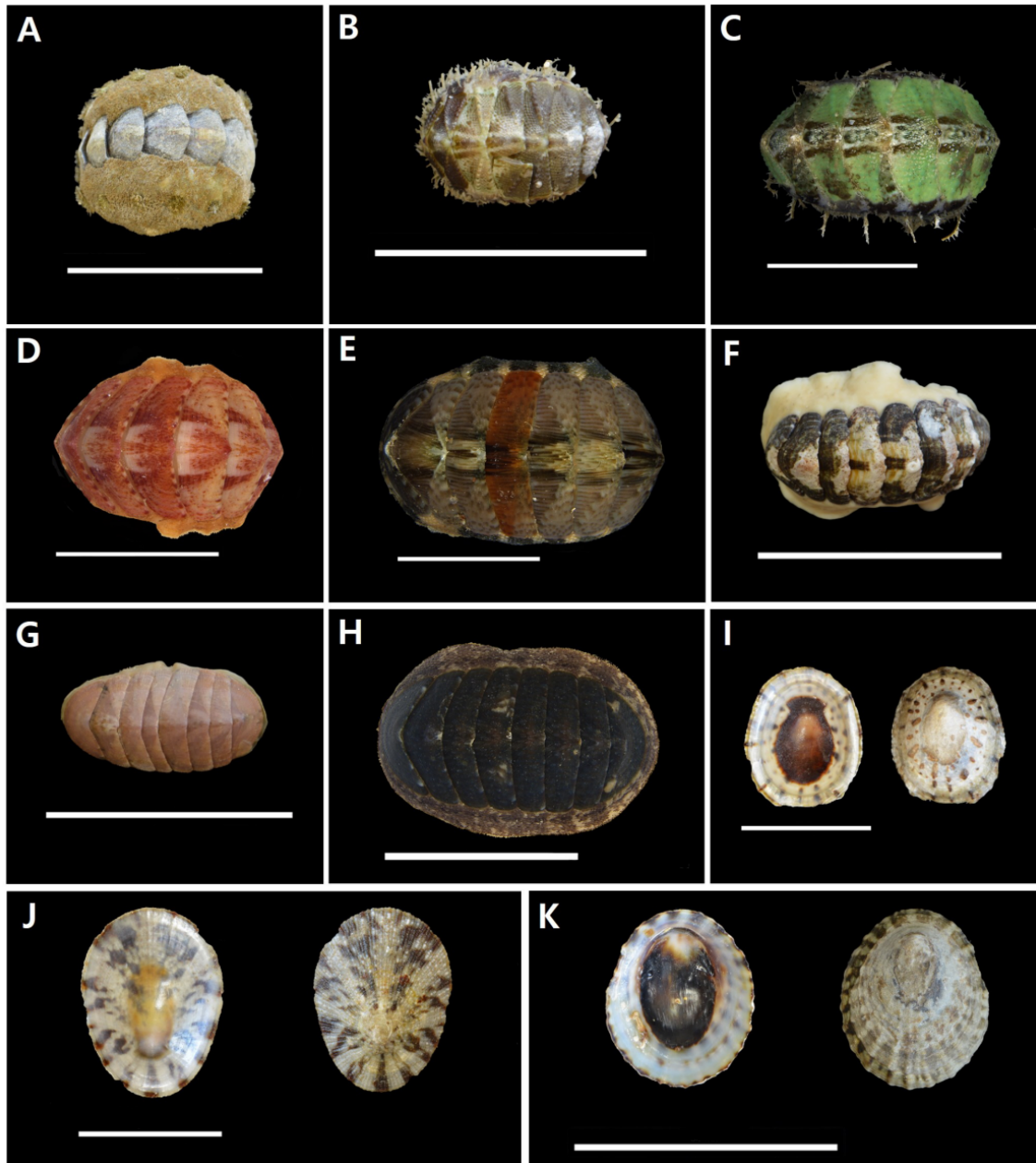


Plate 1: A, *Acanthochitona achates* (scale bar = 25 mm); B, *Mopalia retifera* (scale bar = 25 mm) C, *Plaxiphora integra* (scale bar = 10 mm); D, *Tonicella zotini* (scale bar = 10 mm); E, *Chiton kurodai* (scale bar = 10 mm); F, *Onithochiton hirasei* (scale bar = 25 mm); G, *Ischnochiton comptus* (scale bar = 25 mm); H, *schnochiton boninensis* (scale bar = 10 mm); I, *Cellana grata* (scale bar = 25 mm); J, *Cellana toreuma* (scale bar = 25 mm); K, *Lottia dorsuosa* (scale bar = 50 mm)

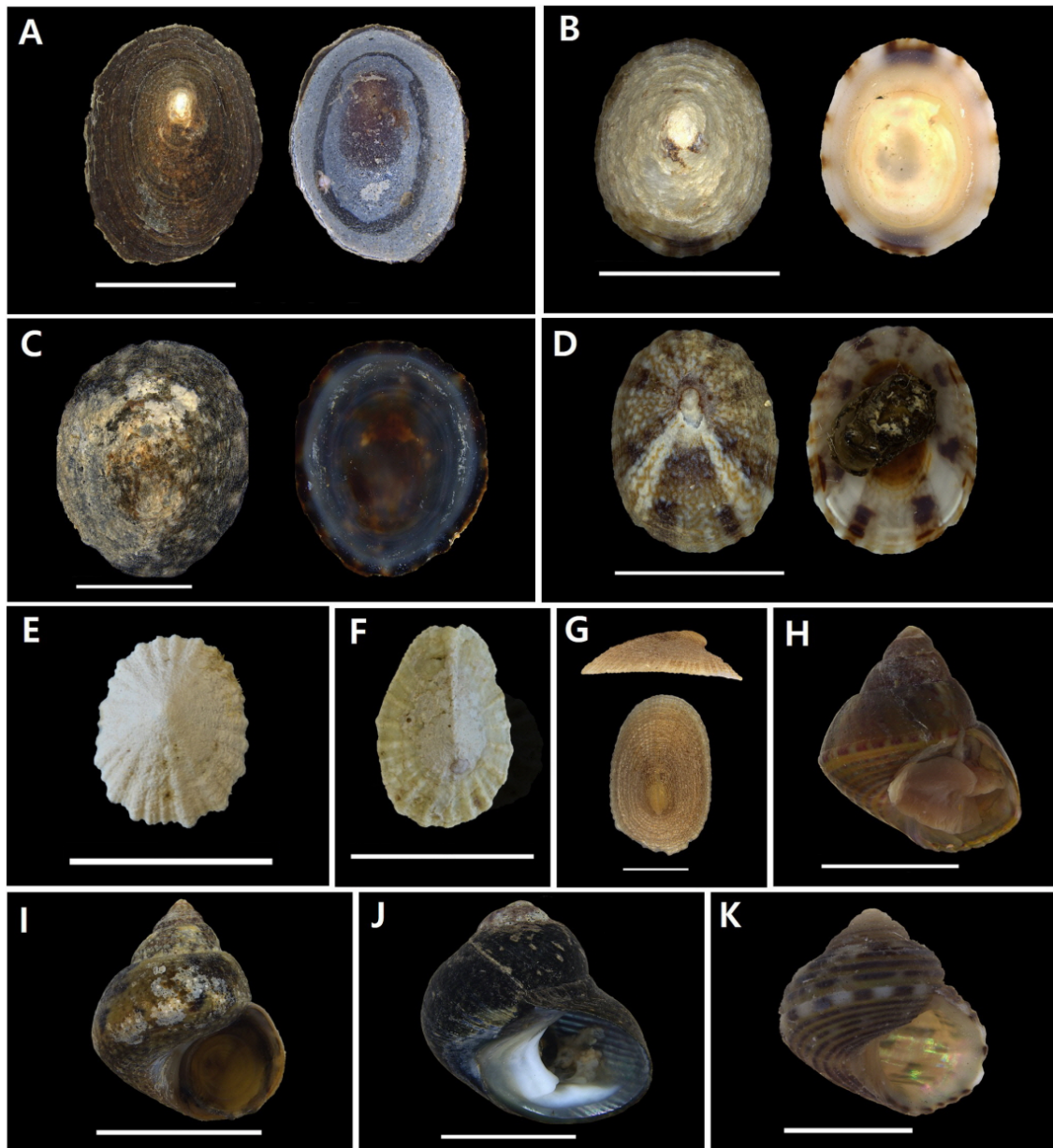


Plate 2: A, *Lottia luchuana* (scale bar = 5 mm); B, *Lottia kogamogai* (scale bar = 10 mm); C, *Lottia tenuisculpta* (scale bar = 10 mm); D, *Acmaea schrenckii* (scale bar = 5 mm); E, *Niveotectura pallida* (scale bar = 50 mm); F, *Scelidotoma gigas* (scale bar = 50 mm); G, *Tugali decussata* (scale bar = 5 mm); H, *Cantharidus callichroa* (scale bar = 2.5 mm); I, *Cantharidus jessoensis* (scale bar = 10 mm); J, *Monodonta neritoides* (scale bar = 10 mm); K, *Clanculus cognatus* (scale bar = 2.5 mm)

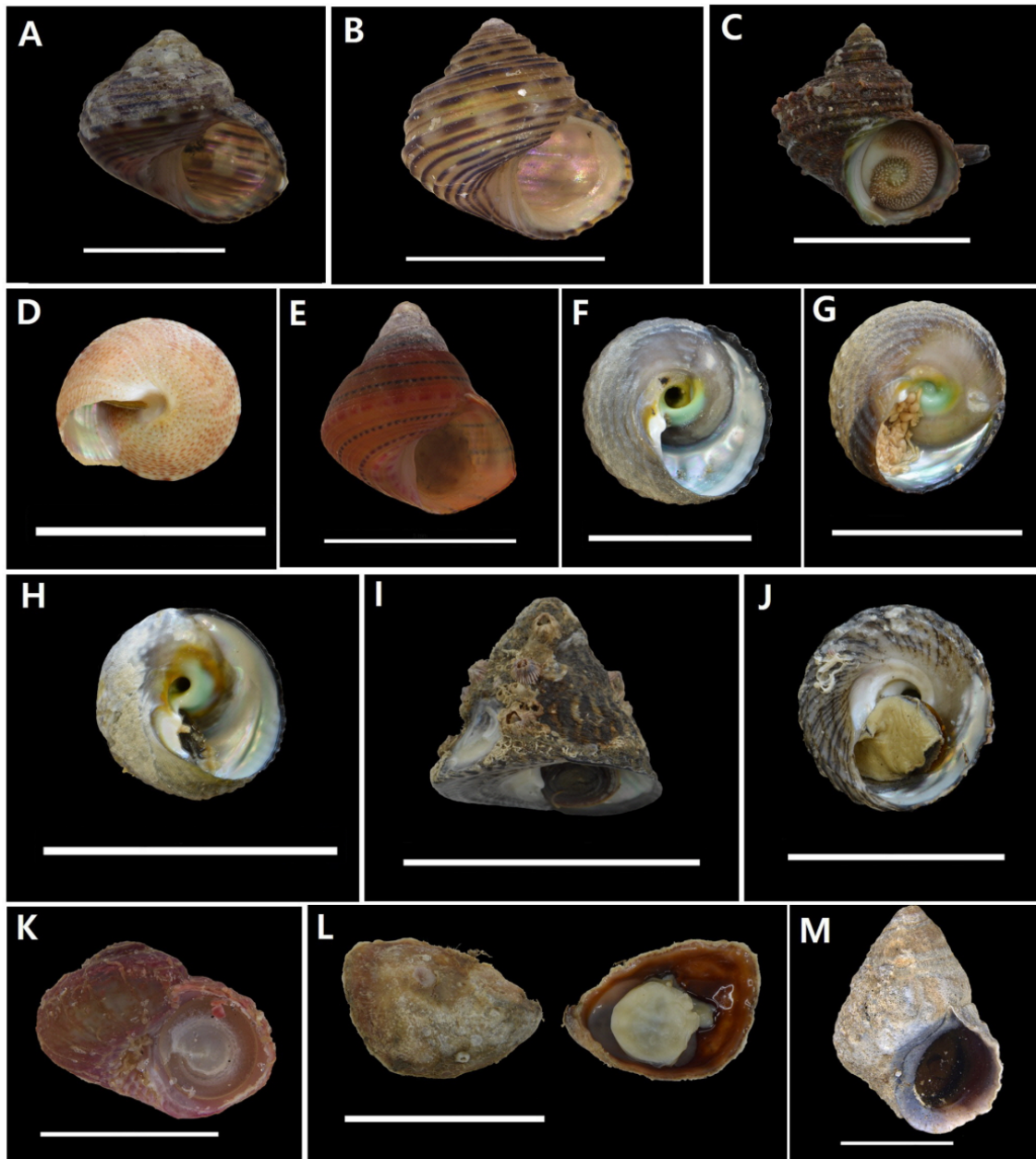


Plate 3: A, *Lirularia iridescens* (scale bar = 2.5 mm); B, *Lirularia pygmaea* (scale bar = 5 mm); C, *Turbo cornutus* (scale bar = 50 mm); D, *Calliostoma multiliratum* (scale bar = 25 mm); E, *Tristichotrochus unicus* (scale bar = 5 mm); F, *Chlorostoma rugatum sublaevis* (scale bar = 25 mm); G, *Chlorostoma lischkei* (scale bar = 25 mm); H, *Chlorostoma turbinatum* (scale bar = 50 mm); I, *Omphalius pfeifferi carpenter* (scale bar = 50 mm); J, *Omphalius pfeifferi pfeifferi* (scale bar = 25 mm); K, *Bothropoma pilula* (scale bar = 2.5 mm); L, *Crepidula onyx* (scale bar = 25 mm); M, *Echinolittorina radiata* (scale bar = 5 mm)

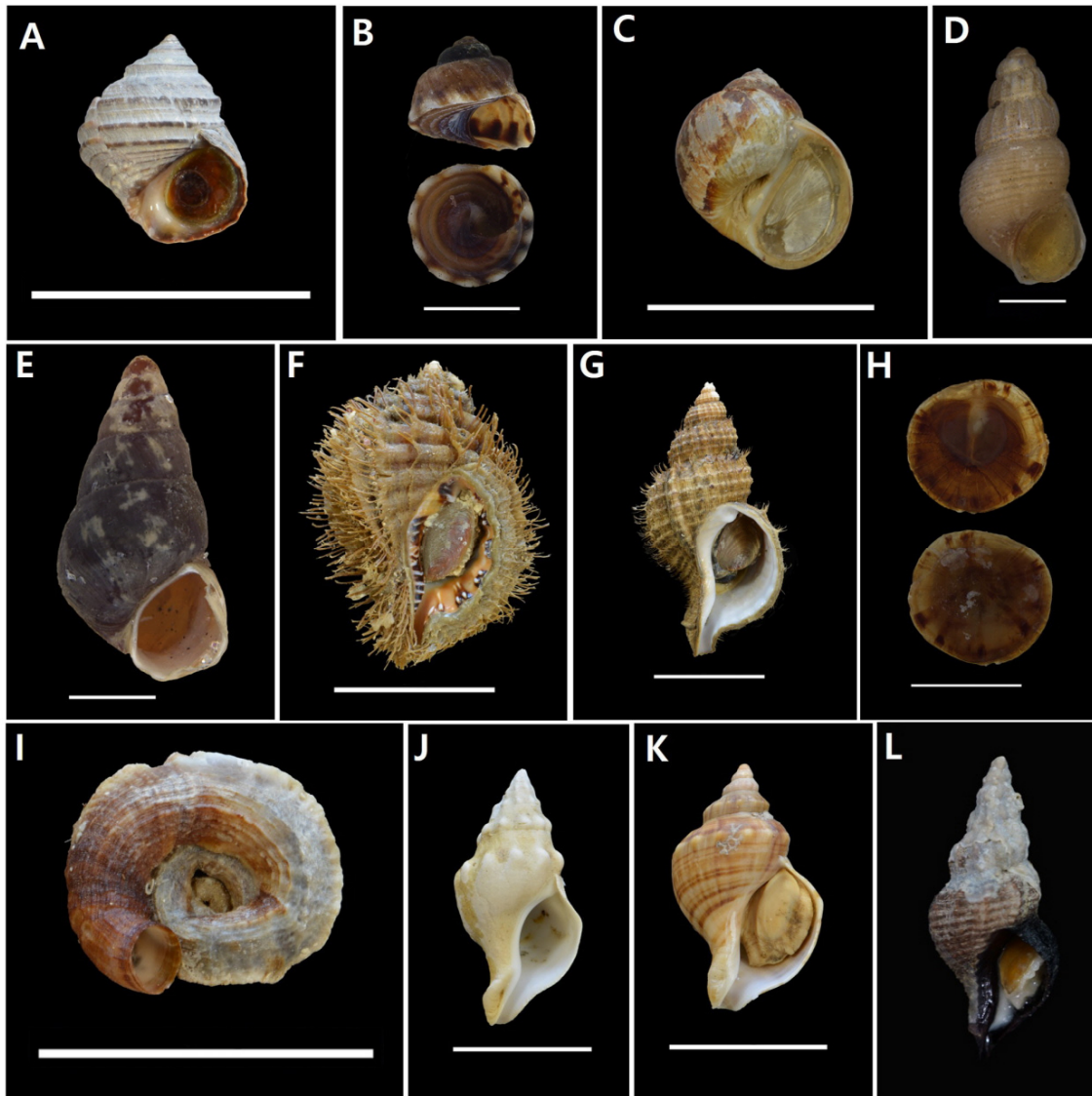


Plate 4: A, *Littorina brevicula* (scale bar = 25 mm); B, *Peasiella habei* (scale bar = 2.5 mm); C, *Cryptonatica russa* (scale bar = 50 mm); D, *Alvania plicosa* (scale bar = 1 mm); E, *Ansolia angustata* (scale bar = 1 mm); F, *Monoplex parthenopeus* (scale bar = 50 mm); G, *Fusitriton galea* (scale bar = 50 mm); H, *Cheilea cepacea* (scale bar = 2.5 mm); I, *Thylacodes adamsii* (scale bar = 50 mm); J, *Kelletia lischkei* (scale bar = 50 mm); K, *Neptunea cumingi* (scale bar = 50mm); L, *Searlesia modesta*

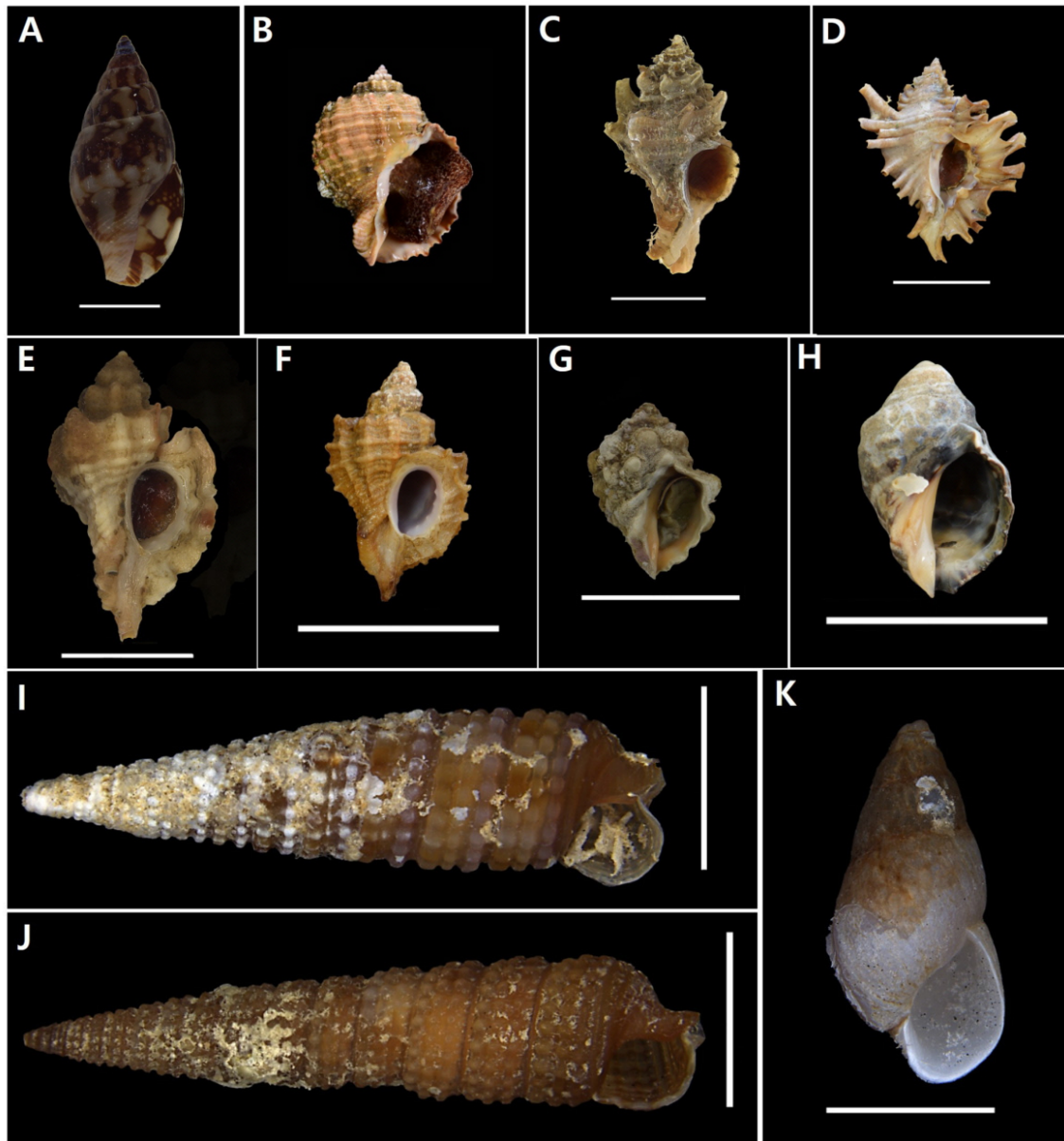


Plate 5: A, *Mitrella bicincta* (scale bar = 2.5 mm); B, *Cancellaria nodulifera*; C, *Lataxiena fimbriata* (scale bar = 5 mm); D, *Ceratostoma burnetti* (scale bar = 50 mm); E, *Ocinebrellus inornatus* (scale bar = 10 mm); F, *Ocinebrellus lumarius* (scale bar = 25 mm); G, *Reishia bronni* (scale bar = 25 mm); H, *Reishia clavigera* (scale bar = 25 mm); I, *Bouchettriphora* cf. *otsuensis* (scale bar = 2.5 mm); J, *Litharium* cf. *kurodai* (scale bar = 2.5 mm); K, *Odostomia aomori* (scale bar = 2.5 mm)

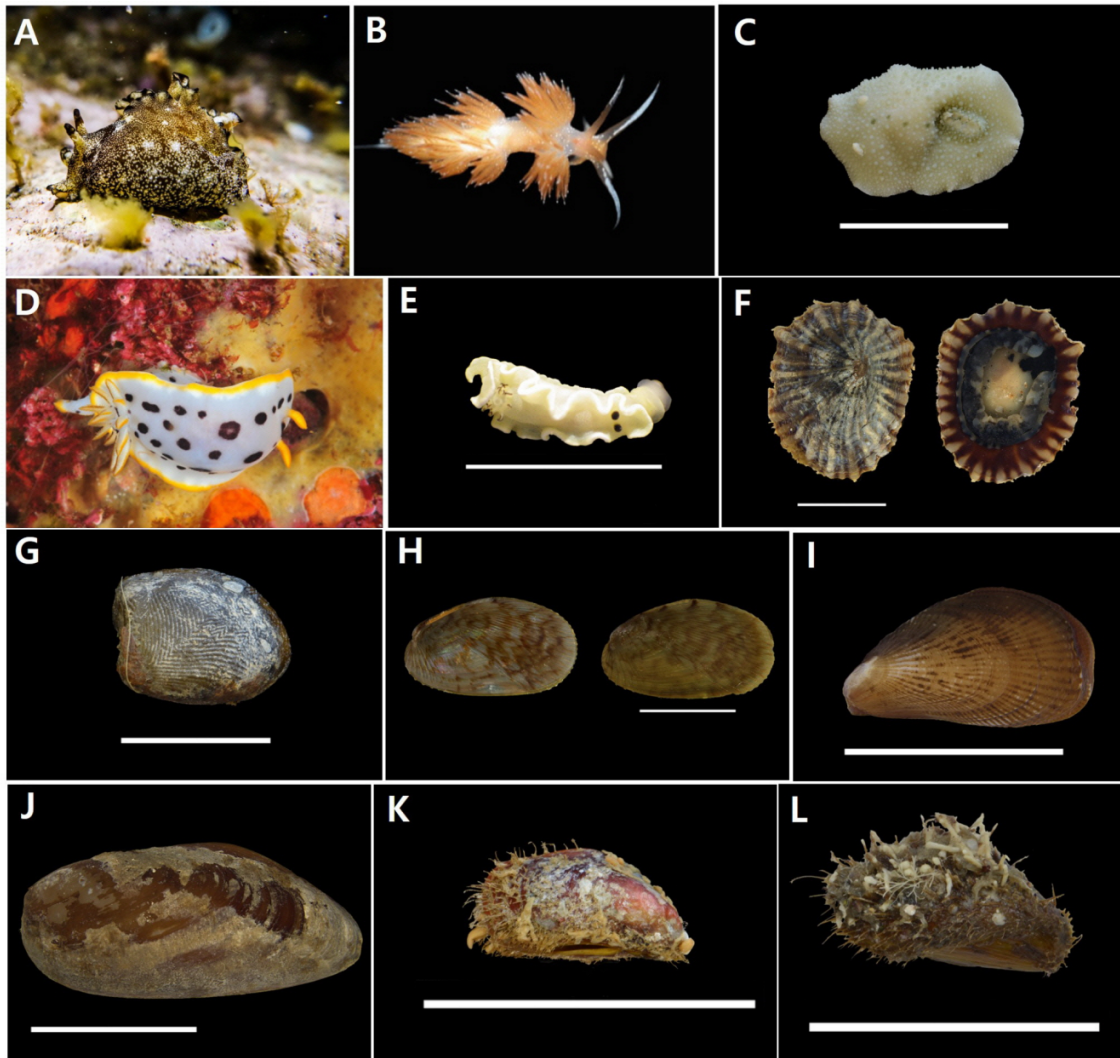


Plate 6: A, *Aplysia kurodai*; B, *Hermisenda crassicornis*; C, *Aldisa cooperi* (scale bar = 25 mm); D, *Chromodoris orientalis*; E, *Glossodoris misakinobogae* (scale bar = 25 mm); F, *Siphonaria japonica* (scale bar = 10 mm); G, *Acila divaricata* (scale bar = 25 mm); H, *Arcuatula senhousia* (scale bar = 5 mm); I, *Brachidontes mutabilis* (scale bar = 10 mm); J, *Lithophaga curta* (scale bar = 10 mm); K, *Modiolus auriculatus* (scale bar = 50 mm); L, *Modiolus kurilensis* (scale bar = 25 mm)

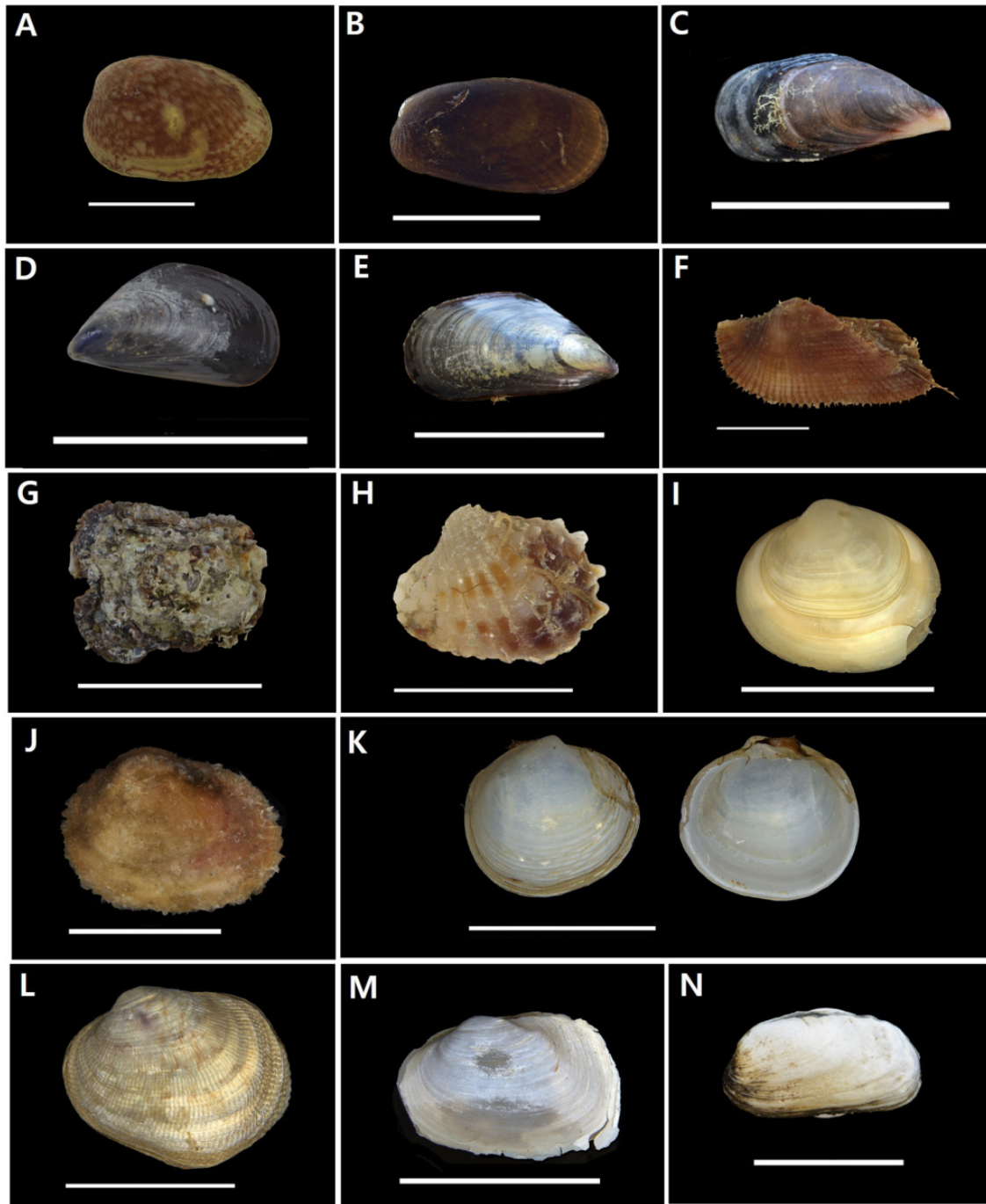


Plate 7: A, *Musculus cupreus* (scale bar = 2.5 mm); B, *Mytilisepta keenae* (scale bar = 5 mm); C, *Mytilisepta virgata* (scale bar = 50 mm); D, *Mytilus galloprovincialis* (scale bar = 25 mm); E, *Mytilus unguiculatus* (scale bar = 50 mm); F, *Arca boucardi* (scale bar = 5 mm); G, *Crassostrea nippona* (scale bar = 50 mm); H, *Cardita leana* (scale bar = 2.5 mm); I, *Kellia porculus* (scale bar = 10 mm); J, *Lasaea undulata* (scale bar = 2.5 mm); K, *Nipponomysella obesa* (scale bar = 25 mm); L, *Divaricella soyoe* (scale bar = 5 mm); M, *Paramya* cf. *recluzi* (scale bar = 7.5 mm); N, *Neotrapezium liratum* (scale bar = 25 mm)