

## 이매패류 3종의 당면체 소화효소 활성

주선미, 권오남<sup>1</sup>, 김재원<sup>2</sup>, 이정식

전남대학교 수산생명의학과, <sup>1</sup>강릉원주대학교 해양생물교육센터, <sup>2</sup>강원도립대학 해양생명과학과

### Digestive Enzyme Activity within Crystalline Style in Three Species of Bivalves

Sun Mi Ju, O-Nam Kwon<sup>1</sup>, Jae Won Kim<sup>2</sup> and Jung Sick Lee

Department of Aqualife Medicine, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea;

<sup>1</sup>Marine Biology Center for Research and Education, Gangnung-Wonju National University, Gangneung 210-853, Korea;

<sup>2</sup>Department of Marine Life-Science, Gangwon Provincial College, Gangneung 210-804, Korea

#### ABSTRACT

This study was examined digestive enzyme activity in the crystalline style of the three species of bivalves. Bivalves used in this study were *Tegillarca granosa* (n=61), *Mytilus galloprovincialis* (n=30) and *Saxidomus purpuratus* (n=30) and collected from southern coast of Korea on May 2010. Digestive enzymes activities in the crystalline style were assayed in spectrophotometer. Amylase and cellulase occupied approximately 90% of digestive enzyme in crystalline style of *T. granosa*, *M. galloprovincialis*, and *S. purpuratus*. And protease activity in crystalline style of *T. granosa*, *M. galloprovincialis* and *S. purpuratus* showed the lowest values to 0.02, 0 and 0.08%, respectively. Digestive enzyme activity in crystalline style of three species was measured in the order of cellulase > amylase > chitinase > laminarinase.

**Key Words:** crystalline style, digestive enzymes, *Tegillarca granosa*, *Mytilus galloprovincialis*, *Saxidomus purpuratus*

#### 서 론

이매패류의 소화기작은 주요 먹이원인 식물성부유생물들의 세포벽을 분해하기 위한 화학적 소화가 필요하다. 따라서 이매패류들은 당면체낭 (crystalline style sac) 에서 다양한 소화 효소를 함유한 당면체 (crystalline style) 를 만들어 소화작용에 이용한다 (Reid and Sweeney, 1980; Brock, 1989; Ibarrola *et al.*, 1988; Alyakrinskaya, 2001).

이매패류의 당면체를 구성하는 주요 소화효소들은 종에 따라 다소 차이를 보인다. *Crassostrea virginica*, *Geukensia demissa*, *Macoma balthica*, *M. mitchlli*, *Rangia cuneata*에서는 amylase, cellulase, laminarinase 등 주로 탄수화물 분해효소들로 구성된다 (Brocka and Kennedy,

1992). 하지만 *Cerastoderma edule* (Ibarrola *et al.*, 1998) 과 *Ruditapes decussatus* 및 *Venerupis pullastra* 의 당면체는 탄수화물 분해효소와 protease로 구성된다 (Albentosa and Moyano, 2009).

당면체의 소화효소학적 기능에 관한 연구들은 *Strombus gigas*의 간체장과 당면체에서 적정 온도와 pH에 따른 탄수화물 분해효소의 활성 (Horiuchi and Lane, 1966), *Placopecten magellanicus*의 소화맹낭과 당면체에서 탄수화물 분해효소의 활성 (Wojtowicz, 1972), *Telescopium telescopium*의 당면체 구성과 효소함유물 (Alexander *et al.*, 1979), *Mya arenaria* 당면체의 amylase 활성 (Trainer and Tillinghast, 1982) 등이 보고되었다.

하지만 이와 관련된 국내 연구로는 복족류인 *Nesiohelix samarangae*의 소화관에서 cellulase 활성에 대한 세포화학적 및 면역세포화학적 연구 (Jeong *et al.*, 1997, 1998) 가 있을 뿐 이매패류 당면체의 소화효소에 관한 연구는 전무하다. 따라서 본 연구에서는 이매패류의 화학적 소화에 초점을 맞추어 서식방법이 서로 다른 꼬막, *Tegillaca granosa*, 지중해담치, *Mytilus galloprovincialis* 및 개조개, *Saxidomus*

Received December 15, 2010; Revised December 20, 2010; Accepted January 12, 2011

Corresponding author: Sun Mi Ju

Tel: +82 (61) 659-7172 e-mail: mi357579@nate.com

1225-3480/24372

*purpuratus*를 대상으로 당면체의 소화효소학적 특징에 대해 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

분석에 사용된 이매패류는 돌조개과 (Arcidae) 의 꼬막, *Tegillarca granosa*, 홍합과 (Mytilidae) 의 지중해담치, *Mytilus galloprovincialis* 및 백합과 (Veneridae) 의 개조개, *Saxidomus purpuratus*이다. 이들은 2010년 5월에 남해안 여수연안에서 각각 61, 30, 30개체를 채집하였다. 개체의 크기와 당면체의 습중량은 Table 1에 나타냈으며, 당면체의 형태는 Fig. 1에 나타냈다.

### 2. 방법

#### 1) 효소활성 분석

당면체는 증류수 (ice cooling, 0°C) 2 ml를 넣고 1,800 rpm으로 1분간 균질화하였다 (homogenizer, SHM-7211 YHaNa®). 이 후 4°C, 6,000 rpm에서 30분 동안 원심 분리하여 상층액을 조효소액으로 이용하였다. 모든 시료는 각 효소

분석용으로 구분하여 -80°C 초저온 냉동고에 보관하였다.

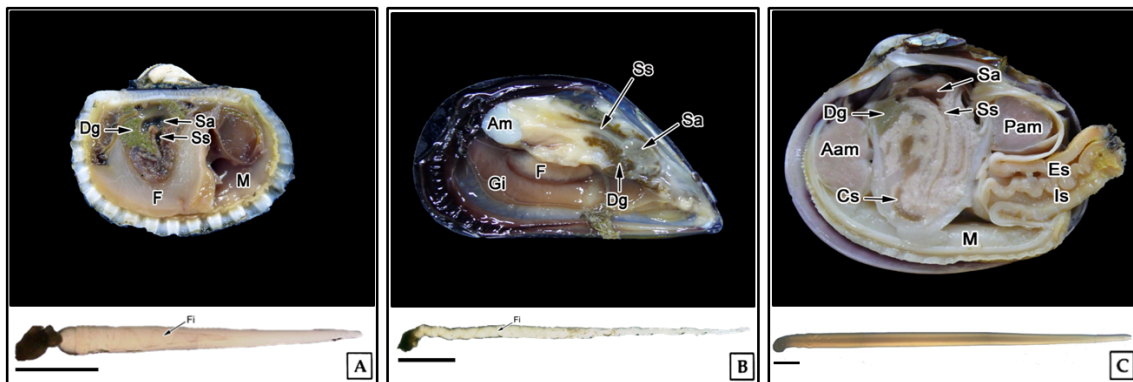
당면체의 소화효소 활성분석은 분광광도계 (Multiskan® Thermo Scientific, U.S.A.)를 이용하여 amylase, laminarase, chitinase, cellulase는 최대 흡수파장인 540 nm에서 흡광도를 측정하였고, protease는 410 nm에서 흡광도를 측정하였다. Amylase 활성은 Bernfeld (1955)의 방법을 이용하여 분석하였으며, laminarase 활성은 Somogyi (1952)의 방법, chitinase 활성은 Monreal and Reese (1969)의 방법을 이용하여 분석하였다. 그리고 cellulase 활성은 DNS procedure (Miller *et al.*, 1960)를 따랐으며, Trypsin 활성은 Erlanger method (Erlanger *et al.*, 1961)의 방법을 이용하였고, TG-Lipase 활성은 p-NPP method (Hung *et al.*, 2003)의 방법을 이용하여 분석하였다. 사용된 기질, 반응 온도, 시간 그리고 완충용액의 농도와 종류는 Table 2에 나타냈다. 단백질은 BSA를 표준물질로 사용하는 Bradford and Reid (1967) 방법을 이용하여 정량하였다.

#### 2) 통계분석

**Table 1.** Size of specimen and weight of crystalline style used in analysis

Species	Shell size (mm)	Total weight (g)	Body weight (g)	Cs* weight (mg, wet weight)
<i>Tegillarca granosa</i>	SL 36.37 ± 2.284	16.59 ± 1.478	3.58 ± 0.598	0.021 ± 0.007
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	SH 64.27 ± 6.272	21.93 ± 4.549	7.57 ± 1.264	0.041 ± 0.010
<i>Saxidomus purpuratus</i>	SL 83.53 ± 2.210	140.68 ± 19.516	48.04 ± 5.721	0.182 ± 0.029

\*Cs, crystalline style; SH, shell height; SL, shell length.



**Fig. 1.** Morphology of crystalline style of *Tegillarca granosa* (A), *Mytilus galloprovincialis* (B) and *Saxidomus purpuratus* (C). Aam, anterior adductor muscle; Am, adductor muscle; Cs, crystalline style; Dg, digestive gland; Es, exhalant siphon; F, foot; Fi, filament; Is, inhalant siphon; M, mantle; Pam, posterior adductor muscle; Sa, stomach; Ss, crystalline style sac. Scale bar: 5 mm.

**Table 2.** Absorptiometry of digestive enzyme analysis of crystalline style

Enzyme	pH	Buffer	Temp. (°C)	Incubation time (min)	Standard	Supernatant volume (μl)	Protein assay
Amylase	6.5	0.01M citrate phosphate	30	40	Maltose (5-200 μg/ml)	50×4	
Laminarinase	6.0	0.1M sodium acetate buffer	37	60	Glucose (0.1%)	50×4	
Chitinase	6.0	0.2M potassium phosphate buffer	25	60	NAG*	50×4	Bradford and Reid (1967)
Cellulase	6.0	50mM sodium citrate	55	30	Glucose	50×4	
Protease	5.0	0.1M potassium phosphate buffer	55	30	Tyrosine (10-400 μg/ml)	50×4	

\* 0.1% NAG, N-Acetyl-D-Glucosamine

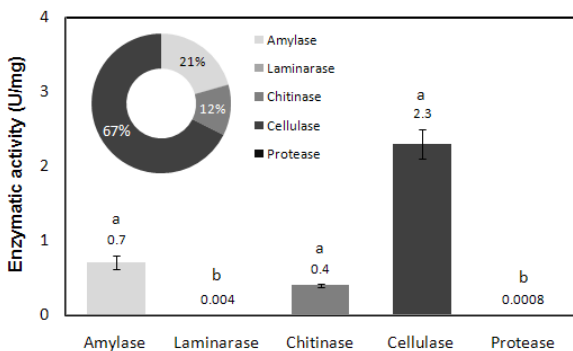
분석자료의 유의성은 One-way ANOVA test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 로 처리한 후 평균 간의 유의성(P < 0.05) 을 SPSS program (Ver., 14.0) 으로 검정하였다.

**결 과**

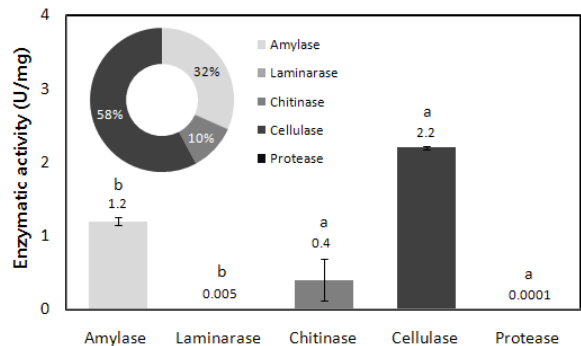
꼬막, 지중해담치, 개조개의 당면체를 구성하는 소화효소는 amylase와 cellulase가 약 90%로 대부분을 차지하였다. 그리고 꼬막, 지중해담치, 개조개의 당면체를 구성하는 소화효소 중 protease의 활성도가 가장 낮았으며, 각각 0.02, 0, 0.08% 로 나타났다 (Figs. 2, 3, 4).

꼬막의 당면체를 구성하는 소화효소 활성도는 cellulase (67.55%) > amylase (20.56%) > chitinase (11.75%) > laminarinase (0.12%) 의 순으로 나타났다 (Fig. 2). 지중해담치에서는 cellulase (57.82%) > amylase (31.54%) > chitinase (10.51%) > laminarinase (0.13%)의 순으로 나타

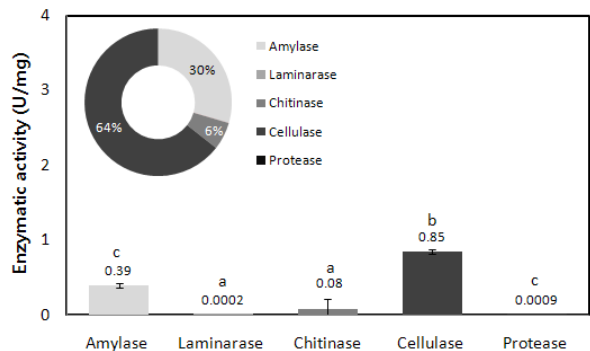
났으며 (Fig. 3), 개조개에서는 cellulase (63.08%) > amylase (28.91%) > chitinase (7.88%) > laminarinase (0.05%)의 순으로 나타났다 (Fig. 4).



**Fig. 2.** Enzymatic activity of crystalline style in *Tegillarca granosa*. Vertical bar: SD.



**Fig. 3.** Enzymatic activity of crystalline style in *Mytilus galloprovincialis*. Vertical bar: SD.



**Fig. 4.** Enzymatic activity of crystalline style in *Saxidomus purpuratus*. Vertical bar: SD.

## 고 찰

이매패류의 섭이 및 소화기작은 외투강 기관계와 내장낭 기관계의 작용에 의해 수행된다. 이매패류의 내장낭 내에서의 소화기작은 물리적 소화보다는 이들의 주요 먹이원인 식물성부유생물들의 세포벽을 분해하기 위한 화학적 소화기작이 필요하다. 따라서 이매패류들은 당면체낭에서 셀룰로스 분해효소를 함유한 당면체를 만들어 소화작용에 이용하게 된다 (Alyakrinskaya, 2001).

본 연구에서는 이매패류의 소화기작 가운데 화학적 소화에 초점을 맞추어 서식방법이 서로 다른 꼬막, *Tegillarca granosa*, 지중해담치, *Mytilus galloprovincialis* 및 개조개, *Saxidomus purpuratus*를 대상으로 화학적 소화와 직접적인 관련이 있는 당면체의 소화효소의 활성을 조사하였다.

3종 모두 당면체를 구성하는 소화효소는 amylase와 cellulase가 약 90% 내외를 차지하였으며, chitinase는 7.88-11.75%, laminarinase는 0.05-0.13%를 차지하였다. 고착성인 *Crassostrea virginica*, *Rangia cuneata* 그리고 *Geukensia demissa*와 잠입성인 *Macoma balthica*와 *M. mitchelli*의 당면체에서 amylase의 활성이 전체 탄수화물 분해효소의 활성 중 30-70%로 높은 비율을 나타냈고, cellulase는 15-27%, laminarinase는 14-47%를 나타냈다. 그리고 3가지 탄수화물 분해효소의 활성은 서식지가 다른 종간에 유사하였으며, 소화맹낭에서 보다 당면체에서 활성이 더 높았다. 이는 당면체의 소화효소는 이매패류의 세포의 소화에서 중요한 역할을 수행하는 것뿐만 아니라 세포내 소화에도 관여하기 때문이라고 하였다. 즉 세포내 탄수화물 분해효소 활성은 당면체에 의해 분비된 효소와 관련이 있다는 것이다 (Brocka and Kennedy, 1992).

Fernández-Reiriz *et al.* (2001)은 *Mytilus chilensis*를 인위적으로 서식지를 옮겨 서식지 적응 상태를 알아보는 실험에서 분석한 소화효소의 활성 중 cellulase가 가장 높게 나타났다. 또한 Albentosa and Moyano (2009)의 연구 결과, 조하대에 서식하는 백합과 이매패류인 *Venerupis pullastra*의 당면체에서 amylase, cellulase, laminarinase 중 amylase 활성이 75.4%로 가장 높았고 조간대에 서식하는 *Ruditapes decussatus*의 경우 amylase 활성이 92.6%에 달했다. 또한 protease/amylase ratio는 *Ruditapes decussatus*보다 *V. pullastra*에서 매우 높았다. 이는 식물성부유생물의 양이 조하대보다 조간대에 많이 있기 때문이라고 하였다. Albentosa and Moyano (2009)는 amylase 활성이 cellulase 활성보다 현저히 높은 반면 Fernández-Reiriz *et al.* (2001)은 cellulase 활성이 amylase 활성보다 2배가량 높은 활성을 보일뿐만 아니라 전체 탄수화물 분해효소 중 57.8-68.2%를

차지하였다. 위의 두 연구 결과에서 이러한 효소활성의 차이는 먹이 조성의 차이로 생각된다.

이매패류에서 chitinase의 활성에 대한 연구는 *Crassostrea virginica*의 당면체에서 chitinase의 활성 (Smucker and Wright, 1984), *Pecten maximus* (Stark and Walker, 1983)와 *Placopecten magellanicus* (Wojtowicz, 1972)의 소화선에서 chitinase의 활성을 제외하고는 거의 찾아보기가 힘들다. 두 가리비의 소화선에서 chitinase는 검출되지 않았다. 또한 Sumner (1969)는 *Mytilus edulis* 소화세관의 소화세포의 세포질 파립들에서 강한 chitobiase 활성을 발견하였는데 이는 1차 라이소좀에 의한 것이라고 하였다. 그리고 Owen (1966)은 연체동물에서 키틴가수분해는 소화관에 존재하는 세균에 의해 일어난다고 하였다.

본 연구 결과, 3종 이매패류의 당면체에서 laminarinase는 0.05-0.13%로 매우 낮았다. 하지만 *Placopecten magellanicus*의 당면체와 소화맹낭에서 laminarinase는 높은 활성을 보였다 (Wojtowicz, 1972).

꼬막, 지중해담치, 개조개의 당면체를 구성하는 효소 중 protease의 활성도는 각각 0.02, 0, 0.08%로 탄수화물 분해 효소와 비교해서 낮게 나타났다. 당면체가 아미노산과 탄수화물 성분으로 구성되었다는 사실이 알려졌다 (Bailey and Worboys, 1960; Doyle, 1966; Albentosa and Moyano, 2009). 그러나 여러 저자들이 당면체의 효소활성에 대한 분석을 진행하기는 했지만 (Horiuchi and Lane, 1966; Wojtowicz, 1972; Trainer and Tillinghast, 1982), Judd (1987)를 제외하고는 당면체의 단백질에 대한 연구는 거의 없다. Judd (1987)는 당면체는 당단백질로 구성되어 있으며, 단단하고 탄력이 있는 당면체를 갖는 *Macomona liliana*, *Pholadidea spathulata* 그리고 *Perna canaliculus*와 부드럽고 탄력이 없는 당면체를 갖는 *Crassostrea glomerata*, *Chione stutchburyi* 두 그룹간의 종들에서 단백질 양상 사이에 차이점은 없다고 보고 하였다.

Reid (1966)는 *Lima hians*에 관한 연구에서 지방과 단백질 소화는 주로 소화맹낭의 소화세관의 소화세포에서 세포내 소화가 일어난다는 것을 발견하였고, 반면에 *Mya arenaria*에서 단백질과 지방가수분해는 소화세관의 소화세포 뿐만 아니라 위에서 세포외 소화가 일어난다는 것을 발견하였다.

이렇게 당면체에 저장된 소화효소들의 활성이 서로 다른 이유는 서식지 뿐만 아니라 먹이생물의 종류 및 구성성분에 따라 변하기 때문이다 (Seiderer *et al.*, 1982; Fernández-Reiriz *et al.*, 2001; Albentosa and Moyano, 2009).

본 연구에 사용된 이매패류 3종의 서식환경을 보면 꼬막은 조간대부터 수심 10 m까지의 진흙, 개조개는 조하대 수심 40

m의 모래가 섞인 진흙 그리고 지중해담치는 조간대부터 수심 20 m 사이의 기질에 부착하여 서식한다 (Yoo, 1976). 이들의 각각 영양조성을 Yoon (2003), Noh *et al.* (2006), Fernández-Reiriz *et al.* (2001) 을 기준으로 유추해 보면, 전체적으로 탄수화물 분해효소 활성과 단백질 분해효소 활성이 차이를 보이는 것은 탄수화물을 주 에너지원으로 이용하는 이매패류의 서식지 및 먹이생물의 종류와 연관이 있음을 의미한다.

하지만, 이들의 소화효소의 활성을 더 면밀히 조사하기 위해서는 소화망상과 당면체의 소화효소의 활성 비교와 SDS-PAGE에 의한 효소 종류별 isomer에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 요 약

본 연구는 3종의 이매패류를 대상으로 당면체의 소화효소 활성에 대해 조사하였다. 본 연구에 사용된 이매패류는 꼬막 (n=61), 지중해담치 (n=30) 및 개조개 (n=30) 이며, 이들은 한국 남해안에서 2010년 5월에 채집하였다. 당면체의 소화효소 활성 분석은 분광광도계를 이용하였다. 꼬막, 지중해담치, 개조개의 당면체를 구성하는 소화효소는 amylase와 cellulase가 약 90%로 대부분을 차지하였다. 그리고 꼬막, 지중해담치, 개조개의 당면체를 구성하는 소화효소 중 protease의 활성도가 가장 낮았으며, 각각 0.02, 0, 0.08%로 나타났다. 당면체를 구성하는 소화효소 활성도는 3종 모두 cellulase > amylase > chitinase > laminarinase의 순으로 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 지역미래과학기술 여성인력양성사업 (조선대학교 WISE 광주/전남 지역 센터) 과 지식경제부 지방기술혁신사업 (RTI05-01-02) 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

- Alexander, C.G., Cutler, R.L. and Yellowless, D. (1979) Studies on the composition and enzyme content of the crystalline style of *Telescopium telescopium* (L.) (Gastropoda). *Comp. Biochem. Physiol., Part B*, **64**(1): 83-89.
- Albentosa, M. and Moyano, F.J. (2009) Differences in the digestive biochemistry between the intertidal clam, *Ruditapes decussatus*, and the subtidal clam, *Venerupis pullastra*. *Aquacult. Int.*, **17**: 273-282.
- Alyakrinskaya, I.O. (2001) The dimensions, characteristics and functions of the crystalline style of Molluscs. *Biol. Bull.*, **28**(5): 523-535.
- Bailey, K. and Worboys, B.D. (1960) The lamellibranch crystalline style. *Biochem. J.*, **76**: 487-491.
- Bernfeld, P. (1955) Amylases, alpha and beta. *Meth. Enzymol.*, **1**: 149-158.
- Bradford, M.M. (1967) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of characterization of a strong fibrinolytic enzyme (nattokinase) in the vegetable cheese bovine insulin. *Biochemistry*, **6**: 215-224.
- Brock, V. (1989) *Crassostrea gigas* (Thunberg) hepatopancreas-cellulase kinetics and cellulolysis of living monocellular algae with cellulose walls. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **128**(2): 157-164.
- Brocka, V. and Kennedy, V.S. (1992) Quantitative analysis of crystalline style carbohydrases in five suspension- and deposit-feeding bivalves. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **159**(1): 51-58.
- Doyle, J. (1966) Studies on the chemical nature of the crystalline style. *In*: Some contemporary studies in marine science (ed. by Barnes, H.), George Allen and Unwin, London, pp. 253-268.
- Erlanger, B.F., Kokowski, N. and Cohen, W. (1961) The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. *Arch. Biochem. Biophys.*, **95**: 271-278.
- Fernández-Reiriz, M.J., Labarta, U., Navarro, J.M. and Velasco, A. (2001) Enzymatic digestive activity in *Mytilus chilensis* (Hupé 1854) in response to food regimes and past feeding history. *J. Comp. Physiol.*, **171**: 203-221.
- Horiuchi, S. and Lane, C.E. (1966) Carbohydrases of the crystalline style and hepatopancreas of *Strombus gigas* linné. *Comp. Biochem. Physiol., Part A*, **17**(4): 1189-1197.
- Hung, T.C., Giridgar, R., Chiou, S.G. and Wu, W.T. (2003) Binary immobilization of *Candida rugosa* lipase on chitosan. *J. Mol., Catal., B Enzym.*, **26**: 69-78.
- Ibarrola, I., Larretxea, X., Iglesias, J.I.P., Urrutia, M.B. and Navarro, E. (1998) Seasonal variation of digestive enzyme activities in the digestive gland and the crystalline style of the common cockle *Cerastoderma edule*. *Comp. Biochem. Physiol., Part A*, **121**: 25-34.
- Jeong, K.H. and Lee, Y.S. (1997) Cytochemical and immunocytochemical study on the cellulase activity in the stomach of the land snail *Nesiohelix samarangae*. *Korean J. Malacol.*, **13**(2): 161-173.
- Jeong, K.H., Lee, Y.S. and Kim, E.J. (1998) Cytochemical and immunocytochemical study on the cellulase activity in the digestive tract of the land snail *Nesiohelix samarangae*. *Korean J. Malacol.*, **14**(2): 149-159.
- Judd, W. (1987) Crystalline style proteins from bivalve molluscs. *Comp. Biochem. Physiol., Part B*, **88**(1): 333-339.
- Miller, G.G., Blum, R., Glennon, W.E. and Burton, A.L. (1960) Measurement of carboxymethylcellulase activity. *Anal. Biochem.*, **1**: 127-132.
- Monreal, J. and Reese, E.T. (1969) The chitinase of *Serratia marcescens*. *Can. J. Microbiol.*, **15**: 689-696.

- Noh, I.H., Yoon, Y.H., Park, J.S., Soh, H.Y. and Kim, D.-I. (2006) Spatio-temporal distributions of organic matter in surface sediment in the central part of the South sea, Korea. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Engin.*, **9**: 203-215.
- Owen, G. (1966) Digestion. **In:** Physiology of Mollusca (ed. by Wilbur, K.M. and Yonge, C.M.) Vol. II, Academic Press, New York, pp. 58-78.
- Reid, R.G.B. (1966) Digestive tract enzymes in the bivalves *Lima hians* (Gmelin) and *Mya arenaria* L. *Comp. Biochem. Physiol.*, **17**: 417-433.
- Reid, R.G.B. and Sweeney, B. (1980) The digestibility of the bivalve crystalline style. *Comp. Biochem. Physiol., Part B*, **65(2)**: 451-453.
- Somogyi, M. (1952) Notes on sugar determination. *J. Biol. Chem.*, **195**: 19-23.
- Seiderer, L.J., Newell, R.C. and Cook, P.A. (1982) Quantitative significance of style enzymes from two marine mussels (*Choromytilus meridionalis* Krauss and *Perna perna* Linnaeus) in relation to diet. *Mar. Biol. Lett.*, **3**: 257-271.
- Smucker, R.A. and Wright, D.A. (1984) Chitinase activity in the crystalline style of the American oyster *Crassostrea virginica*. *Comp. Biochem. Physiol., Part A*, **77(2)**: 239-241.
- Stark, J.R. and Walker, R.S. (1983) Carbohydrate digestion in *Pecten maximus*. *Comp. Biochem. Physiol., Part B*, **76(1)**: 173-177.
- Sumner, A.T. (1969) The distribution of some hydrolytic enzymes in the cells of the digestive gland of certain lamellibranchs and gastropods. *J. Zool., Lond.*, **158**: 277-291.
- Trainer, D.G. and Tillinghast, E.K. (1982) Amyolytic activity of the crystalline style of *Mya arenaria* (Bivalvia, Mollusca). *Comp. Biochem. Physiol., Part A*, **72(1)**: 99-103.
- Wojtowicz, M.B. (1972) Carbohydrases of the digestive gland and the crystalline style of the Atlantic deep-sea scallop (*Placopecten magellanicus* Gmelin). *Comp. Biochem. Physiol., Part A*, **43(1)**: 131-141.
- Yoo, J.S. (1976) Korean shells in color. Iljisa Publishing Co., Seoul, pp. 196.
- Yoon, Y.H. (2003) Spatio-temporal distribution of organic matters in surface sediments and its origin in Deukryang bay, Korea. *J. Environ. Sci.*, **12**: 735-744.