

애기다시마 식물의 미세구조 연구

I. 고정액 조성

정 익 교

부산대학교 해양과학과

Fine structure of *Laminaria religiosa* Miyabe (Laminariales, Phaeophyta)

I. Composition of Fixatives.

Ik-Kyo CHUNG

*Department of Marine Science, Pusan National University
Pusan 609-735, Korea*

There have been many problems like plasmolysis in the ultrastructural studies with kelps. The present study was conducted with series of different fixatives and buffer solutions and several resins to solve the plasmolysis phenomena.

The fixative of 1470 mosmol(3% glutaraldehyde, 2.4% paraformaldehyde in 0.05M cacodylate buffer with 0.2M sucrose and 0.5% caffeine at pH of 7.2) showed the least frequency of plasmolysis. The relationship between the concentration of primary fixatives and the frequency of plasmolysis was not found. With above fixative the possibility of plasmolysis during infiltration period was not identified using ultra-low viscosity resin.

Generally, the kelp(*Laminaria religiosa*) contains a lot of mucilage, which interrupts the infiltration of fixative. The possible physiological mechanisms related with mucilage secretion may be unable to fix the region of plasmalemma properly.

서 론

일반적으로 해산 생물에 대한 미세구조 연구 분야에서 적절한 고정액 및 처리 방법의 정립이 어려운 것은 잘 알려져 있다. 더우기 점액질 분비, 특이한 세포벽 구성, 고도로 분화된 세포 내부를 보여 주고 있는 대형 갈조 식물들을 다루어 본 사람은 전반적으로 시료 준비 과정의 어려움을 인정하여 서로 정보를 교환하고 있으나 아직도 적절한

처방이 밝혀지지 않고 있다.

대형 갈조 식물에 대한 전자현미경적 연구는 Bouck(1965) 이래로 여러 학자들에 의해 진행되어 왔으나, 방법론에 많은 문제점이 지적되어 왔다. 그 중에서도 원형질분리 현상은 유주자, 접합자, 유생 포자체 들에 대한 미세구조 사진들에서는 그 정도가 다소 떨어지나, 일반적으로 성숙한 포자체들에 대한 미세구조 연구에서는 원형질분리 현상이 뚜렷하여 이에 대한 적절한 고정액 및 시료 준비 과

Keyword : 애기다시마(*Laminaria religiosa*) 고정액, 원형질분리 현상, 전자현미경적 미세 구조
“본 연구는 한국과학재단 연구비(KOSEF 893-0412-012-1) 지원에 의하여 수행되었음”

정의 재검토가 절실히 요구된다(Bisalputra *et al.*, 1971; Toth 1974, 1976; Markey and Wilce, 1975; Brawley *et al.*, 1976a, b, 1977; Oliveira *et al.*, 1980; Henry and Cole, 1982a, b; Maier and Mueller, 1982; Clayton, 1984).

많은 연구에서 보편적으로 높은 osmolarity를 갖는 고정액이 사용되어 왔다. 즉 sucrose를 첨가하거나(Evans, 1966; Evans and Holligan, 1972a, b; Rawlence, 1973; Lofthouse and Capon, 1975; Oliveira *et al.*, 1980; Henry and Cole, 1982, b; Lignell *et al.*, 1982; Pedersen and Roomans, 1983; Clayton and Beakes, 1983; Clayton *et al.*, 1985), 해수용액을 사용하거나(Bisalputra *et al.*, 1971; Markey and Wilce, 1975; 1976a, b; Sideman and Scheirer, 1977; Clayton and Beakes, 1983; Clayton, 1985; Mariani *et al.*, 1985), 혹은 NaCl을 첨가한 고정액을 사용하였다(Motomura and Sakai, 1984). 특히 Clayton and Beakes(1983)는 이에 대하여 고리매(*Scytosiphon lomentaria*)를 다양한 고정액을 사용하여 연구하였으나 원형질 분리 현상을 시정하지 못하였다.

한편 낮은 osmolarity의 고정액과 PIPES 완충 용액(Salema and Brandao, 1973)을 시도한 Chung *et al.*(1987)은 *Laminaria saccharina*의 표피 세포 층에서 원형질분리 현상의 출현 빈도를 현저하게 줄일 수 있었으나, 낮은 osmolarity의 결과라고 추정되는 세포질이나 미토콘드리아 등에서의 세포 내용물 유출 현상이 문제점으로 지적되고 있다. 현재

대형 갈조류에 대한 전자 현미경적 연구는 고정액 및 시료 준비 과정에 대한 전반적인 방법론의 정립과 아울러 이들에 대한 미세구조의 재검토가 시급히 요청되고 있다.

본 연구는 정립되어 있지 않은 대형 갈조 식물들에 대한 전자현미경적 시료 준비 과정을 검토하기 위해 대형 갈조류인 애기다시마(*Laminaria religiosa*)를 대상으로 여러가지 고정액 및 완충 용액을 사용하여 이에 대한 적절한 방법론을 연구하였다. 물론 고정액의 성패여부는 여러가지 복합 요인들의 종합적인 반응 결과로 나타나고 있지만(Hayat 1981), 본 연구는 가장 기초가 되는 최초 고정액의 농도 및 완충 용액 농도와와의 조합으로 조성한 일련의 고정액들 및 다른 레이진을 사용하여 이들 과정에서 얻어진 결과와 원형질분리 현상의 빈도와의 상관 관계를 검토하였다.

재료 및 방법

재료 및 방법: 본 실험의 시료는 강원도 주문진에서 생육하는 애기다시마(*Laminaria religiosa*)를 1989년 6월과 7월에 걸쳐 2회 채집하여 아이스 박스에 넣어 실험실로 운반하여 사용하였다. 분비된 다량의 점액질은 가제로 잘 닦아 낸 후 고정액(Table 1)을 떨어 뜨려 면도칼로 잘게 자른 뒤 액침 고정하였다. 고정된 시료는 점진적으로 sucrose의 농도가 낮아지는 세척 용액으로 여러번 씻은 뒤 1

Table 1. Composition of primary fixatives.

조 성*1	GA 50%	PF 16%	BUFFER*2 0.2M	HCl 0.2M	SUCROSE 1M	CAFFEINE*3	CaCl ₂
1 A	1ml	1.5ml	12.5ml	1.05ml	0ml	0.25g	0.02g
1 B					5ml		
1 C					10ml		
1 D					15ml		
2 A	3ml	4.5ml			0ml		
2 B					5ml		
2 C					10ml		
2 D					15ml		
3 A	3ml	7.5ml			0ml		
3 B					5ml		
3 C					10ml		
3 D					15ml		

*1: To make 50ml, pH 7.2

*2: Cacodylate buffer(pH 7.2)

*3: Mueller and Greenwood(1978); Clayton and Beakes(1983)

% 오스미움(OsO₄)으로 고정하였다. 다시 오스미움을 씻어낸 뒤에 점진적으로 농도를 증가시키는 탈수용액(아세톤)으로 처리하였다. 완전 탈수 후에 플라스틱 포매용액(epoxy resin)을 점진적으로 치환시킨 다음 오븐에서 균형 블록으로 만들어 초박절편기(LKB Nova Broma Ultratome)를 이용하여 유리칼로 자른 박편을 그리드(400 mesh copper grid)에 얹어 초산우라닐(uranyl acetate)과 구연산염(lead citrate)으로 이중 염색한 시료를 전자현미경(JEOL JEM-100SX Transmission E. M.)으로 조사하였다.

원형질분리 현상의 분석: 고정액의 선별에 대한 다양한 기준은 이미 밝혀진 바 있으나(Hayat, 1981), 본 연구에서는 갈조 식물들의 미세구조 사

진에서 일반적으로 원형질분리 현상이 뚜렷하기 때문에, 이 문제에 초점을 두고 일련의 고정액을 조사하였다. 원형질분리 현상을 야기하는 원인들 중에서 제일 먼저 지적되는 문제는 최초 고정에서 일어나는 세포와 고정액의 osmolarity 차이로 일어날 수 있는 분리 현상이다. 그러므로 고정액(glutaraldehyde + paraformaldehyde)의 농도 및 고정액의 osmolarity를 조절하기 위하여 sucrose를 첨가하여 Table 2와 같이 조성한 일련의 고정액들을 사용하여 시료를 처리하였다. 원형질분리 현상의 빈도와 고정액 osmolarity와의 상관 관계를 밝히려 고 1차 고정 이후 처리 과정은 일반적 처리방법으로 시료를 준비하여 우선 1차 고정액의 연구 결과만을 분석하였다.

미세구조 사진 분석의 기준으로 원형질분리 현

Table 2. Osmolarities of primary fixatives

1 A	397	2 A	946	3 A	1256
1 B	544	2 B	1084	3 B	1304
1 C	664	2 C	1178	3 C	1470
1 D	803	2 D	1308	3 D	1613

(단위 : mosmol)

상을 검토하였다. 우선 고정액의 osmolarity의 차이에서 비롯되는 원형질분리 현상을 glutaraldehyde (GA)와 paraformaldehyde(PF) 농도 조성과 sucrose 첨가액 농도로 조합된 12가지 고정액을 처리하여 가장 빈도가 적은 고정액 조합을 선택하였다. 이때 각 조직별 분석도 병행하여 조직 분화에 따른 고정액의 선택도 비교 검토하였다.

포매용액: 제1단계 최초 고정액 분석으로 얻어진 결과를 토대로 다음 단계인 레이진 침투과정(resin infiltration)에서 일어날 수 있는 원형질분리 현상의 가능성을 검토하였다. 즉, 처음에는 Spurr (1969)의 낮은 점성도의 레이진을 사용한 결과를 기초로 가장 적절한 고정액을 이용하여 레이진 침투 과정을 아주 낮은 점성도 레이진(Ultra-low viscosity embedding media: Polysciences Cat. # 17706: Oliveira *et al.*, 1983)을 사용하였다.

결과 및 고찰

원형질분리 현상: 1차 고정액 조성에(Table 1) 따라 처리한 애기다시마(*Laminaria religiosa*)의 전

자현미경적 미세구조는 각 조성에 따른 뚜렷한 상관관은 없었으나, osmolarity가 증가할수록 분리의 정도 및 빈도가 감소하는 경향을 보여 Chung *et al.* (1987)의 결과와 상반되는 양상을 보여 주었다. 그 중 1470 mosmol(조성액 3C)로 처리된 시료에서 원형질분리 현상의 빈도 및 정도가 가장 낮았으며(Plate I), 특히 최외층세포(outermost layer: meristoderm)의 원형질막 분리 현상의 정도가 가장 낮았다(Plate I. A, B). Clayton and Beakes (1983)가 제시한 각 고정액 및 처리 방법은 특히 파이소드(Physodes)의 형태를 고정하기 위한 시도였으며, 그들이 다룬 고리매(*Scytosiphon lomentaria*)는 6층 정도의 세포열을 갖는 빈 튜브 형태의 얇은 식물체임에도 불구하고 이들의 미세구조 사진들에서 원형질분리 현상이 빈번히 나타나고 있었다. 본 실험에서도 caffeine을 첨가하여 파이소드의 고정에서 같은 결과를 얻었다.

미세구조: 이러한 원형질막 분리 현상에도 불구하고 세포 내용물은 일반적으로 대형 갈조 식물들의 미세구조와 차이가 없었다. 절단된 박편의 부위에 따라 차이는 있었지만, 핵(nucleus: N), 엽록체(chloroplast: C), 골기체(Golgi body=dictyosome

: G), 미토콘드리아(mitochondria : M), 중심체(centriole : Cr), 액포(vacuole : V), 파이소드(P) 등이 관찰되었다(Plate I. B, C). 핵의 형태는 다른 세포 내용물의 상태 및 배치에 따라 다양한 모습을 보여 주었다. 핵질(nucleoplasm)은 핵막구멍(nucleopore)을 가진 단위막(unit membrane)으로 구성된 핵막(nuclear envelope : NE)으로 둘러 싸여진 형태로, 염색질(chromatin), 핵소체(인=nucleolus : Nu) 등이 확인되었으며, 핵막이 약간 돌출된 부위에 중심체가 위치하고 있었다. 엽록체는 전형적인 갈조 식물에서 볼 수 있는 형태로, 절편에서는 띠모양으로 나타나는 3층의 층상 구조를 가진 틸라코이드(thylakoid)로 구성되어 있었고, 양 끝 부분에 보이는 양성한 기질 부위에 엽록체 DNA가 있는 것으로 추정된다. 엽록체 주위, 구멍판(pit field = plasmodesmata) 부근, 혹은 세포 주변부에 발달된 튜브 형태의 크리스타(cristae)를 가진 미토콘드리아가 확인되었다. 갈조식물의 미세구조상 가장 뚜렷한 내용물층의 하나인 파이소드는 최외층 meristoderm 세포에서 주로 길게 염색된 다양한 크기의 구형으로 발견되나 간혹 피층(cortical layer) 혹은 수층(medullary layer)에서도 관찰되었다. 그리고 이에 대한 연구는 많으나 아직 확실한 세포 생리학적, 생화학적 특성이 밝혀지지 않았다(McCully, 1968; Evans and Holligan, 1972b; Ragan and Craigie, 1976; Ragan *et al.*, 1979; Pelligrini, 1980; Clayton and Beakes, 1983). 또한 다양한 크기, 모양 및 내용물을 가진 액포가 관찰되었으며 이는 Rawlence(1973)가 *Ascophyllum nodosum*에서 보고된 형태와 비슷하였고, 내용물이 균질하게 퍼진 모양, 중앙부에 열게 염색된 내용물이 모여 있는 형태, 내용물이 거의 없는 모습, 작은 구형의 소포를 포함한 형태 등이 관찰되었다. 또한 피층에서는 물결 모양으로 원형질막이 분리된 모습을 보여 주었으나(Plate I. D), 결과적으로 볼 때 다른 부위에 비하여 상대적으로 고정 상태가 좋았다. 중층의 특징인 대형 액포가 자리 잡고 있었고, 외부쪽으로 엽록체, 파이소드들이 분포하고 있었다. 세포벽은 세포간 연락 구멍판 부분을 제외하고 비후된 모습을 보여주었다.

점액질 분비 : 본 연구에서는 다시마류 식물의 일반적인 특징인 점액질 분비에 따른 생리 세포학적인 기작으로 변형될 수 있는 미세구조의 특징을 찾아 보았다. 즉 이러한 세포의 활동으로 고정될 때 막의 기본적인 구조가 변형될 수도 있을 것이다. 우선 원형질막과 세포벽 사이에 벌어진 틈에서 여

러가지 모습이 보였다(Plate II. A : 화살표). 이들은 세포벽 성분으로 보이는, 느슨하게 뭉쳐진 실모양의 숨 다발 모습, 길게 염색된 일정한 모양을 갖지 않은 모습들이었다. 그리고 원형질막이 세포벽에서 떨어지면서 막의 형태가 변형되어 일어난 결과라고 여겨지는 작은 주머니 형태도 보였다. 세포질 안에도 이와 비슷한 모양의 작은 주머니가 있었으며, 이들 안에 있는 아주 작은 방울 모양의 내용물이 세포벽에도 있는 것으로 보아 이들이 세포에서 여러 크기의 주머니(예 : 골기액포 : Golgi vesicles) 속에 있다가 세포벽으로 운반되는 것으로 짐작된다(Plate II. B : 화살표). 일반적으로 점액질의 분비는 알긴산(alginic acid)과 같은 복합 다당류(polysaccharides)로서 이들은 골기체의 활동으로 만들어 지는 작은 주머니들의 움직임으로 세포 밖으로 운반되어 세포벽을 구성하거나(Evans *et al.*, 1974), 점액질로 분비되는 것으로 보인다. 어느 정도 비슷하게 염색되었지만, 세포질과는 다른 모습을 나타내는 부분이 세포벽 안쪽으로 보였다. 고정할 때, 막 구조가 변형되면서 만들어진 여러 겹 주머니 모양의 구조는 점액질이 활발히 분비되는 상태로 여겨지며 앞에 말한 모습과 같은 세포 주변 세포벽 부근에서 보였다(Plate II. C : 화살표).

세포벽은 어느 정도 균일하게 짜여져 있었고, 간혹 점액질로 보이는 물질이 세포벽 안에 있었다(Plate II. D : 화살표). 이는 세포의 점액질 분비 활성이 높아 세포벽이 형성되면서 같이 만들어 졌거나, 점액질이 단순히 분비되는 경로일 수도 있다고 본다. 육상식물인 *Lathraea clandestina*의 분비 조직에서는 세포벽에 원형질막의 미로가 튜브 형태로 꼬여 미로를 형성하지만(Schnepf, 1964), 본 식물은 점액질의 분비가 주로 원형질막에서 일어나기 때문에 여러 형태가 세포벽은 물론 이와 원형질막 사이에서도 관찰된다.

세포벽의 다른 특징은 물질의 이동 및 운반 경로인 구멍판이 많이 있었다. 이들 주위에 작은 액포들이 많이 보였다(Plate II. E : 화살표). 이들의 단면에서 수축된 단위막을 확인하였으나(Plate II. F : 화살표), E.R.은 보이지 않았다(Gunning and Robards, 1976).

피층부에서 점액질이 이동하는 길로 보이는 세포들에서는 잘 발달된 E.R.과 미토콘드리아가 있었고, 표피층과는 달리 엽록체의 모습은 단순하였다. 미토콘드리아 내부 크리스타의 모습으로 볼 때, 이들의 활성이 높은 것으로 여겨지며, 또한 이곳에서 물질들이 활발하게 이동되고 있다고 추측된다(Plate III. A). 핵 주위의 액포안에서는 세포 주변

부의 액포에서 볼 수 있는 내용물들이 보였다. 이것은 이들이 핵 주위에서 형성되어 액포로 세포 주변으로 이동되어 밖으로 운반되는 것으로 추측된다(Plate III. B). 핵 주위에는 주로 엽록체, 중심체와 골기체 등이 보였다(Plate III. B, C, D). 물질의 이동에는 골기체와 이들에게서 만들어진 골기액포(Golgi vesicle)들이 관여하고 있으며 골기액포가 액포로 합쳐지는 모습도 보였다(Plate III. D : 화살표).

원형질막을 이루는 단위막과는 구조가 다르지만, 액포를 이루는 막의 모습도 고정되면서 원래 모습이 달라질 수도 있다. 우선 액포가 터지면서 내용물이 세포질로 비교적 균일하게 퍼지거나, 터진 막이 여러 개의 작은 액포로 된 모습도 보였다(Plate IV. A, B :). 이와는 달리 여러가지 모습의 내용물을 가진 작은 주머니 모양의 액포가 원형질막 부근에서 많이 관찰되었다. 특히 액포와 원형질막이 서로 이어진 모습은 액포안의 물질이 세포벽으로 이동하거나(exocytosis), 반대로 세포 밖의 물질이 세포 안으로 들어 올 수도 있는 가능성(endocytosis)을 보여주었다(Plate IV. C). 액포는 바깥쪽 세포층들을 제외한 중층과 수층 세포들의 거의 대부분을 차지하고 있었으며, 뚜렷하게 염색되는 내용물이 거의 없었다. 세포벽 주위의 원형질막의 형태가 물결모양으로 세포벽에서 떨어져 있지만 액포의 모습과 내용물은 잘 보존되어 있었다. 많지 않은 세포 내용물들 가진 세포질은 세포 주변으로 물려분포하고 있었다(Plate IV. D).

요 약

대형 갈조류 미세구조 연구의 문제점인 원형질 분리 현상을 다양한 농도의 고정액과 완충용액을 조합한 일련의 고정액으로 연구 검토하였다. 1차 고정액 조성 중 1470 mosmol 고정액 조성(3% glutaraldehyde, 2.4% paraformaldehyde, 0.05M cacodylate buffer, 0.2M sucrose, 0.5% caffeine, pH 7.2)이 뚜렷하지는 않았으나 원형질분리 현상의 빈도가 비교적 적었다. 각 고정액 조성과 원형질분리 현상의 빈도와는 연관성은 각 고정액 별로 큰 차이를 보여 주지 않았으나, osmolarity가 증가하면서 분리 현상의 빈도와 정도가 감소하였다. 그 중 원형질분리 현상의 빈도가 가장 낮은 고정액을 이용하여 점도가 낮은 레이진을 사용하여 침투 과정에서 원형질분리 가능성을 분석하였으나 특별한 차이가 없었다. 전반적으로 다시마(*Laminaria reli-*

giosa)의 특징인 다량의 점액질 때문에 고정액의 침투가 어렵고, 점액질의 분비에 따른 세포내 생리적 기작들이 원형질막의 고정을 난이하게 만드는 요인으로 확인되었으나, 다른 세포 내용물들의 고정 상태는 양호하였다.

사 사

전자현미경 및 부속 시설의 사용을 도와주신 부산대 하재청 교수님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Bisalputra, T., C. M. Shields and J. M. Markham. 1971. *In situ* observation of the fine structure of *Laminaria* gametophytes and embryos in culture. I. Methods and the ultrastructure of the zygotes. *J. Microscopie* 10 : 83~96.
- Bouck, G. B. 1965. Fine structure and organelle associations in brown algae. *J. Cell Biol.* 26 : 523~527.
- Brawley, S. H., R. Wetherbee and R. S. Quatrano. 1976a. Fine structural studies of the gametes and embryo of *Fucus vesiculosus* L.(Phaeophyta). I. Fertilization and pronuclear fusion. *J. Cell Sci.* 20 : 233~254.
- Brawley, S. H., R. Wetherbee and R. S. Quatrano. 1976b. Fine structural studies of the gametes and embryo of *Fucus vesiculosus* L.(Phaeophyta). II. The cytoplasm of the egg and young zygote. *J. Cell Sci.* 20 : 255~271.
- Brawley, S. H., R. S. Quatrano and R. Wetherbee. 1977. Fine structural studies of the gametes and embryo of *Fucus vesiculosus* L.(Phaeophyta). III. Cytokinesis and the multicellular embryo. *J. Cell Sci.* 24 : 275~294.
- Chung, I.-K., M. C. Ledbetter and B. H. Brinkhuis. 1987. Fine structure of *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. *Kor. J. Phycol.* 2 : 147~171.
- Clayton, M. N. 1984. An electron microscopic study of gamete release and settling in the complanate form of *Scytosiphon*(Scytosiphonaceae, Phaeophyta). *J. Phycol.* 20 : 276~285.
- Clayton, M. N. 1985. A critical investigation of the vegetative anatomy, growth and taxonomic af-

- finities of *Adenocystis*, *Scytothamnus*, and *Splachnidium* (Phaeophyta). *Br. phycol. J.* 20 : 285~296.
- Clayton, M. N. and G. W. Beakes. 1983. Effects of fixatives on the ultrastructure of physodes in vegetative cells of *Scytosiphon lomentaria* (Scytosiphonaceae, Phaeophyta). *J. Phycol.* 19 : 4~16.
- Clayton, M. N., N. D. Hallam, S. E. Luff and T. Diggins. 1985. Cytology of apex, thallus development. *Plasma* 88 : 175~186.
- McCully, M. E. 1968. Histological studies on the genus *Fucus*. III. Fine structure and possible functions of the epidermal cells of the vegetative thallus. *J. Cell Sci.* 3 : 1~16.
- Motomura, T. and Y. Sakai. 1984. Ultrastructural studies of gametogenesis in *Laminaria angustata* (Laminariales, Phaeophyta) regulated by iron concentration in the medium. *Phycologia* 23 : 331~343.
- Mueller, W. C. and A. D. Greenwood. 1978. The ultrastructure of phenolic-storing cells fixed with caffeine. *J. Exp. Bot.* 29 : 757~764.
- Oliveira, L., D. C. Walker and T. Bisalputra. 1980. Ultrastructural, Cytochemical and enzymatic studies on the adhesive "plaques" on the brown algae *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. and *Nereocystis luetkeana* (Nert.) Post. et Rupr. *Protoplasma* 104 : 1~15.
- Oliveira, L., A. Burns, T. Bisalputra and K.-C. Yang. 1983. The use of an ultralow viscosity medium (VCD/HXSA) in the rapid embedding of plant cells for electron microscopy. *J. Microsc. (Oxford)* 132 : 195~204.
- Pedersen, M and G. M. Roomans. 1983. Ultrastructural localization of bromine and iodine in the stipe of *Laminaria digitata* (Huds.) Lamour., *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. and *Laminaria hyperborea* (Hunn.) Fosl. *Bot. Mar.* 26 : 113~118.
- Pellegrini, L. 1980. Cytological studies on physodes in the vegetative cells of *Cystoseira stricta* Sauvageau (Phaeophyta, Fucales). *J. Cell Sci.* 41 : 209~231.
- Ragan, M. A. and J. S. Craigie. 1976. Physodes and the phenolic compounds of brown algae. Isolation and characterization of phloroglucinol polymers from *Fucus vesiculosus* (L.). *Can. J. Biochem.* 54 : 66~83.
- Ragan, M. A., O. Smidsrød and B. Larsen. 1979. Chelation of divalent metal ions by brown algal polyphenols. *Mar. Chem.* 7 : 265~271.
- Rawlence, D. J. 1973. Some aspects of the ultrastructure of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis (Phaeophyceae, Fucales) including observations on cell plate formations. *Phycologia* 12 : 17~28.
- Salema, R. and I. Brandao. 1973. The use of PIPES buffer in the fixation of plant cells for electron microscopy. *J. Submicr. Cytol.* 5 : 79~96.
- Schnepf, E. 1964. Über Zellwandstrukturen bei den Kopfchendruseen der Schuppenblätter von *Lathraea clandestina* L. *Planta* 60 : 473~483.
- Sideman, E. J. and D. C. Scheirer. 1977. Some fine structural observations on developing and mature sieve elements in the brown alga *Laminaria saccharina*. *Amer. J. Bot.* 64 : 649~657.
- Spurr, A. R. 1969. A low viscosity epoxy resin emulsion and reproductive structures of *Hormosira banksii* (Fucales, Phaeophyta). *Phycologia* 24 : 181~190.
- Evans, L. V. 1966. Distribution of pyrenoids among some brown algae. *J. Cell Sci.* 1 : 449~454.
- Evans, L. V. and M. S. Holligan. 1972a. Correlated light and electron microscope studies on brown algae. I. Localization of alginic acid and sulphated polysaccharides in *Dictyota*. *New Phytol.* 71 : 1161~1172.
- Evans, L. V. and M. S. Holligan. 1972b. Correlated light and electron microscope studies on brown algae. II. Physode production in *Dictyota*. *New Phytol.* 71 : 1173~1180.
- Evans, L. V., M. Simpson and L. D. Callow. 1973. Sulphated polysaccharide synthesis in brown algae. *Planta* 110 : 237~252.
- Gunning, B. E. S. and A. W. Robards. 1976. Intercellular communication in plants : Studies on plasmodesmata. Springer-Verlag. Berlin. 387 pp.
- Hayat, M. A. 1981. Fixation for electron microscopy. Academic Press, Inc. New York. 501 pp.
- Henry, E. C. and K. M. Cole. 1982a. Ultrastructure of swarmers in the Laminariales (Phaeophyceae). I. Zoospores. *J. Phycol.* 18 : 550~569.

- Henry, E. C. and K. M. Cole. 1982b. Ultrastructure of swimmers in the Laminariales(Phaeophyceae). II. Sperm. *J. Phycol.* 18 : 570~579.
- Lingnell, A., G. M. Roomans and M. Pedersen. 1982. Localization of absorbed cadmium in *Fucus vesiculosus* L. by X-ray microanalysis. *Z. Pflanzenphysiol.* 105 : 103~109.
- Lofthouse, P. F. and B. Capon. 1975. Ultrastructural changes accompanying mitosporogenesis in *Ectocarpus parvus*. *Protoplasma* 94 : 83~99.
- Maier, I. and D. G. Muller. 1982. Antheridium fine structure and spermatozoid release in *Laminaria digitata*(Phaeophyceae). *Phycologia* 21 : 1~8.
- Mariani, P., C. Z. Tolomio and P. Braghetta. 1985. An ultrastructural approach to the adaptive role of the cell wall in the intertidal alga, *Fucus virsoides*. *Protoplasma* 128 : 208~217.
- Markey, D. R. and R. T. Wilce. 1975. The ultrastructure of reproduction in the brown alga *Pylaiella littoralis*. I. Mitosis and cytokinesis in the plurilocular gametangia. *Protoplasma* 85 : 219~241.
- Markey, D. R. and R. T. Wilce. 1976a. The ultrastructure of reproduction in the brown alga *Pylaiella littoralis*. II. Zoosporogenesis in the unilocular sporangia. *Protoplasma* 88 : 147~173.
- Markey, D. R. and R. T. Wilce. 1976b. the ultrastructure of reproduction in the brown alga *Pylaiella littoralis*. III. Later stages of gametogenesis in the plurilocular gametangia. *Protoplasma* 88 : 147~173.
- Toth, R. 1974. Sporangial structure and zoosporogenesis in *Chorda tomentosa*(Laminariales). *J. Phycol.* 10 : 170~185.
- Toth, R. 1976. The release, settlement and germination of zoospores in *Chorda tomentosa* (Phaeophyceae, Laminariales). *J. Phycol.* 12 : 222~233.

1990년 5월 14일 접수

1990년 5월 31일 수리

도판설명(Explanation of Plates)

Note : abbreviations used in Plates : N=nucleus, C=chloroplast
Cr=centriole, M=mitochondrion, P=physodes, V=vacuole
CW=cell wall, ER=endoplasmic reticulum, G=Golgi body

- Plate I. Ultrastructure of *Laminaria religiosa*
- A. Cells in meristoderm layers
 - B. Some organelles
 - C. Chloroplasts and physodes
 - D. Cells in cortical layers
- Plate II. Ultrastructure of cell wall and plasmalemma region of *Laminaria religiosa*
- A. Cell wall and plasmalemma
 - B. Cell wall and plasmalemma
 - C. Cell wall and plasmalemma
 - D. Cell wall and mucilage pocket
 - E. Cell wall and pit field
 - F. Cross section of pit field
- Plate III. Ultrastructure of *Laminaria religiosa*
- A. mitochondria and E. R.
 - B. Organelles around the nucleus
 - C. Golgi body
 - D. Nucleus and golgi bodies
- Plate IV. Ultrastructure of vacuoles in *Laminaria religiosa*
- A. Types of vacuoles
 - B. Types of vacuoles
 - C. Vacuole and plasmalemma
 - D. Vacuole in cortical layers

PLATE I

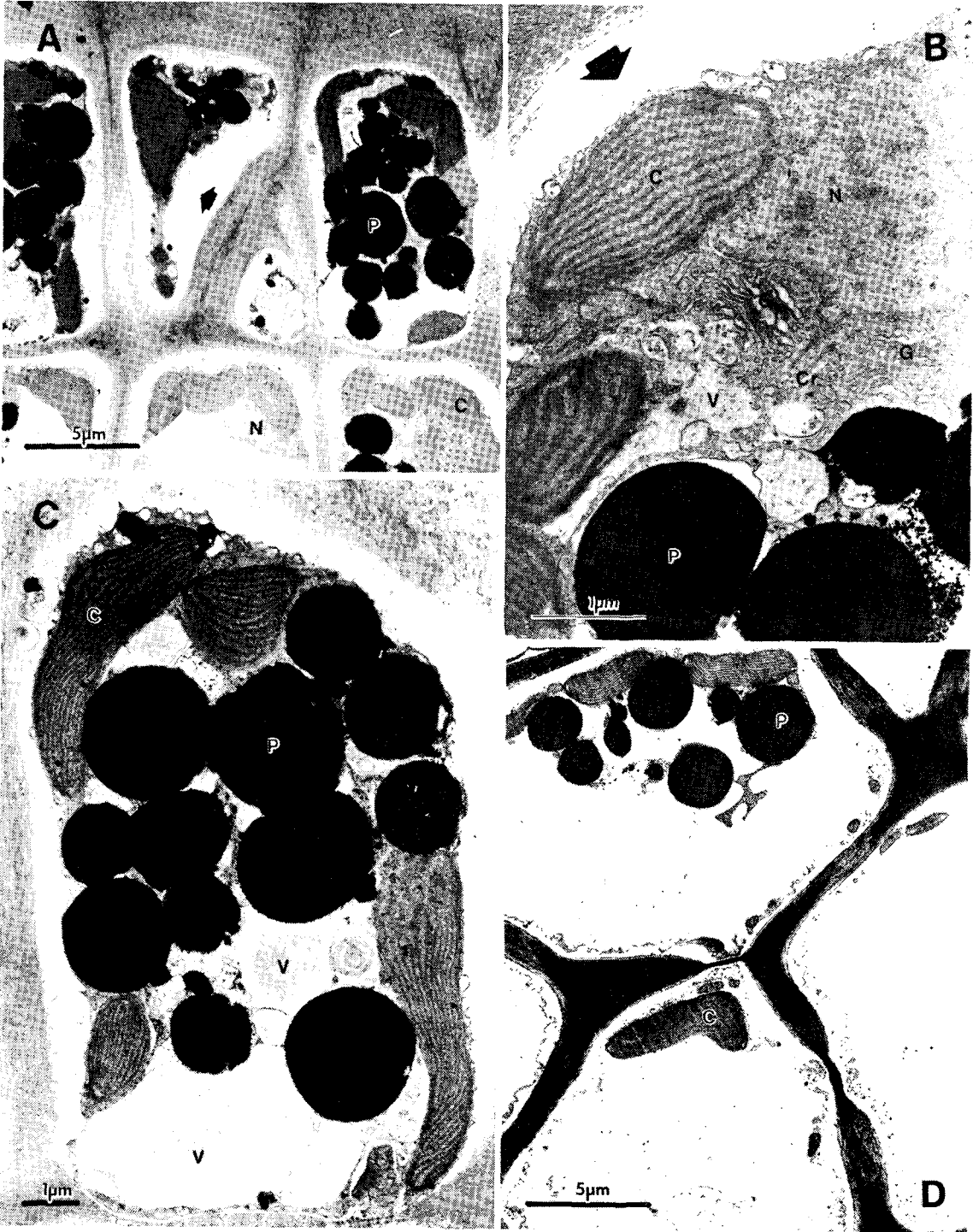


PLATE II

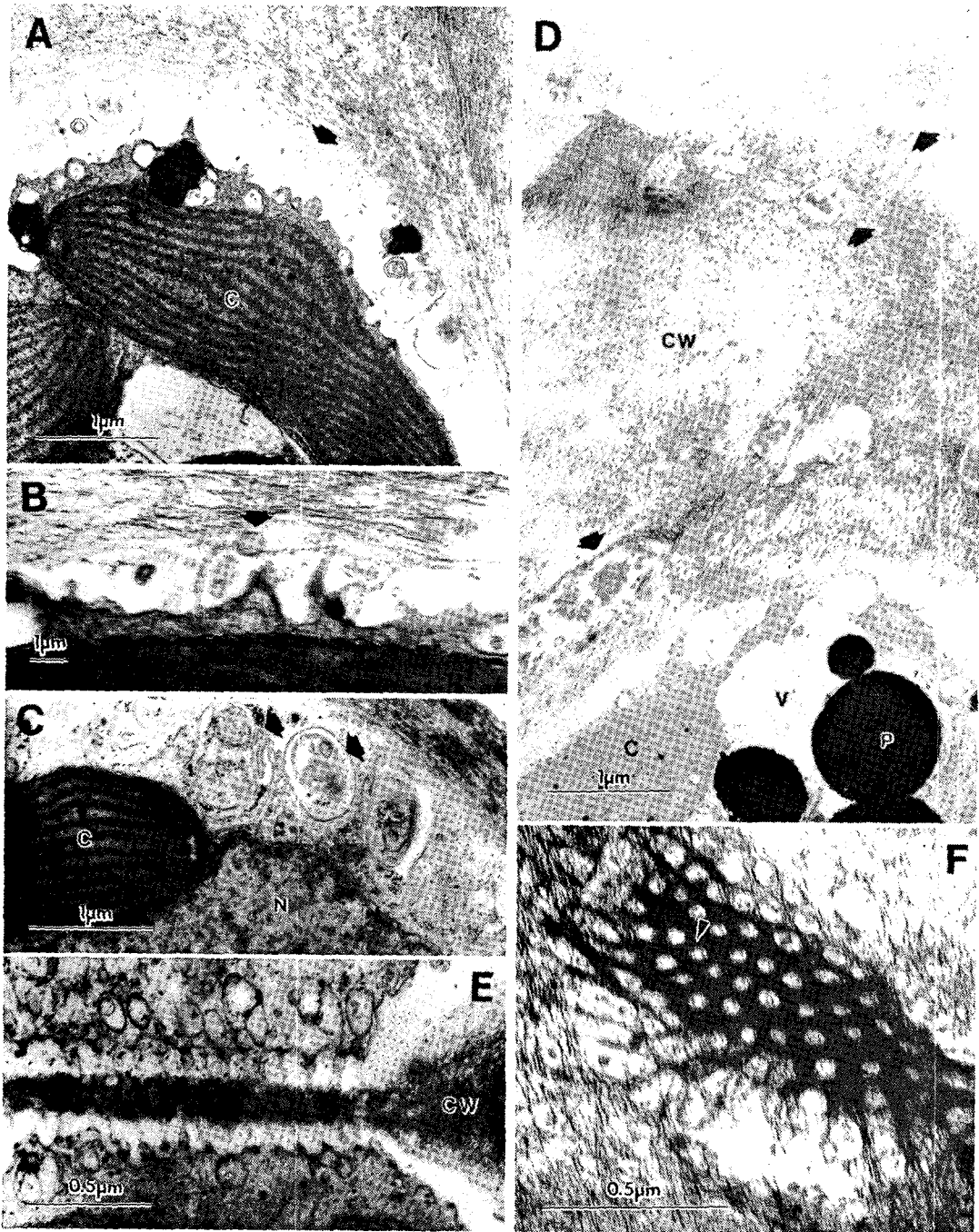


PLATE III

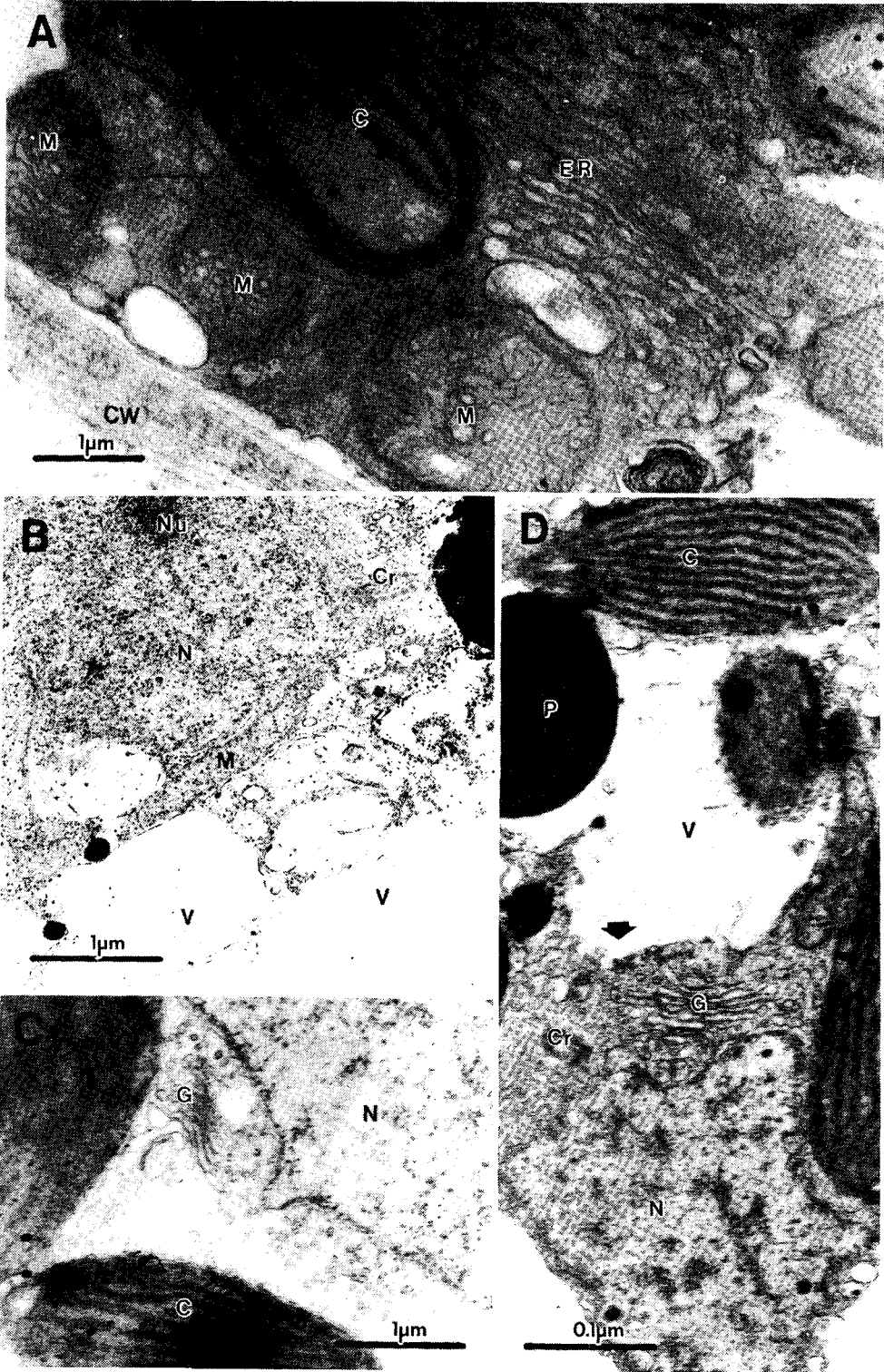


PLATE IV

