

# 光学顕微鏡，走査型および透過型電子顕微鏡 による形態学的比較研究

—*Undaria pinnatifida* について—

奥 田 弘 枝

Comparative, Morphological Study with an Optical Light  
Microscope, a Scanning Electron Microscope and a  
Transmission Electron Microscope

—On *Undaria pinnatifida*—

Hiroe OKUDA

## Abstract

Important informations on detailed and precise morphological studies of tissues, organella and cells of algae are supplied by scanning electron microscopes (SEM) and transmission electron microscopes (TEM) recently, as well as by optical light microscopes (OLM) which have been used for many years.

In the present report *Undaria pinnatifida* was used as a specimen. A comparative study was done using the above three kinds of microscopes in order to know how much degree the surface structure of the organism and solid localization and fine structure of mucilage glands, hair and hair conceptacles, typical for the algae, can be elucidated.

As a result, the three-dimensional image obtained with SEM was not so different from that which had been expected, basing on OLM- and TEM-micrographs of cross-section of the algae. However, observation with SEM has advantages of being able to obtain clear image of even ultrastructure, and of giving strong impression to eyes on the three-dimensional difference of surface structure, which is usually difficult to detect by OLM or TEM. It is worthy to mention here that analysis of the image obtained with SEM should be compared thoroughly with the TEM-micrographs of cross-section, referring to the OLM-micrographs.

Morphology of tissues, organella and cells can be observed finely and precisely by using SEM together with OLM and TEM. Such studies may lead to a discussion not only on the structure but also on the morphology in relation to the function, i. e., on the functional ultrastructure region.

## I 緒 言

17世紀の中頃, Anton van Leewenhoek によって単式顕微鏡が組み立てられて以来, ミクロの世界は拡大されて来た。しかし, 光学顕微鏡の分解能には可視限界がある。20世紀に入って, Knoll, Borries, Ruska らの研究により, 電子と磁界レンズの組み合わせによって, 光学顕微鏡の分解能を越す透過型電子顕微鏡が作られ, 今日その解像力は  $1 \text{ \AA}$  を越えたとさえいわれている。また, 加速電圧の増大によって電子線の透過力が高まり, 厚さ  $1 \mu\text{m}$  単位の切片の観察も可能である。走査電子顕微鏡の原理は Boyde ら (1935年) によって発表されていたが, その実用化は1960年代に世界の数社が商品化したことによる。走査型電子顕微鏡を使用することにより, 試料の表面構造は数  $\mu\text{m}$  の深さを記録することが可能となった。

本報は光学顕微鏡, 走査型および透過型電子顕微鏡を用い, *Undaria pinnatifida* を試料として, その表面構造や *Undaria* の特徴である hair および hair conceptacle や mucilage gland の立体的配置や微細構造がどの程度明らかに出来るか, 比較研究を行なったものである。

## II 試料および試料の調整

### 1. 試 料

観察に用いた試料は, 1978年4月, 瀬戸内海尾道市の海岸で採取したワカメ (*Undaria pinnatifida*) の健全な葉状部である。葉体長は約 80 cm で, 成実葉をつけ, 十分に成熟した藻体である。採取後の処理は前報 (奥田1980, a) と同様に行なった。

### 2. 試料の調整

#### (1) 光学顕微鏡 (以下, OLM) 観察用試料の調整

試料は 0.1 M sodium cacodylate buffer (pH 7.4) で稀釈した 2% glutaraldehyde で  $5^{\circ}\text{C}$ , 2時間の前固定を行なった後, 2% osmic acid で  $5^{\circ}\text{C}$ , 2時間の後固定を行なった。用いた試料が海水中に生育していることから, 浸透圧の変化が細胞の形態に与える影響を考慮して, まず 0.1 M sodium cacodylate buffer で稀釈した10~40%の alcohol で脱水し, ついで50~60%の alcohol 系列で順次脱水の後, Epon 包埋し,  $5 \mu\text{m}$  の切片とし, toluidine blue 染色を行なった。

#### (2) 走査型電子顕微鏡 (以下, SEM) 観察用試料の調整

試料は 0.1 M sodium cacodylate buffer (pH 7.4) で稀釈した 2% glutaraldehyde で  $5^{\circ}\text{C}$ , 2時間前固定し, 等張な緩衝液で洗浄した後, 0.1 M sodium cacodylate buffer で稀

積した 2%  $\text{OsO}_4$  で  $5^\circ\text{C}$ ，2 時間，後固定を行なった。固定後，試料は 50~100% の alcohol 系列を通して脱水し，臨界点乾燥装置 (JCPD-3) を用いて乾燥した。ついで試料表面に Au 蒸着を施し，SEM (JSM-T20, 19 kV) で観察した。

### (3) 透過型電子顕微鏡 (以下，TEM) 観察用試料の調整

試料は OLM の Epon 包埋の方法と同様に固定脱水の後，LKB ultramicrotome で 200~400 Å の超薄切片を作製し，uranyl acetate 液で 20 分間，Milloning 液で 10 分間染色を施し，HS-7 型あるいは JEM100-B 型 TEM で観察した。TEM 観察用試料の詳細な作製方法については前報 (奥田 1980, a) に述べている。

## Ⅲ 実験結果および考察

### 1. Hair, Hair conceptacle の形状および組織，細胞質にみられる諸構造について

藻類で体の表層より外部に向かって細長い細胞が発出しているものには紅藻，褐藻，緑藻があり，これらはその形態と機能により，同化系，側系，原形質突起，hair 等に分類される。*Undaria pinnatifida* の表層には hair conceptacle と称する体内に落ち込んだ窪みがあり，hair conceptacle の基部から外に向かって hair が密生している。本項では hair および hair conceptacle の組織および細胞質に見られる諸構造をどの程度詳細にしかも正確に観察出来るか，従来から使用されていた OLM の他に SEM や TEM を用い，観察結果の比較研究を行なった。

#### (1) OLM (standard) による観察

試料の細胞成分の大部分は可視光に透過性があるため，コントラストが少ないため，そのままの状態でも OLM 下においても細胞内構造がよく見えない。そこで，異なった細胞成分を選択的に染色する色素を用いて，光の吸収によってコントラストをつける方法がとられるが，ここでは toluidine blue 染色を行ない，その結果を Fig. 1, Fig. 2 に示した。Hair conceptacle 横断面の OLM 像によると，その大きさは直径 155~175  $\mu\text{m}$  あり，表皮層は 1~2, 3 層の直径 5~6  $\mu\text{m}$  のほぼ円柱状の細胞 (緑色に染色) から形成されている (Fig. 1)。その下に存在するのが皮層細胞で，髓層は図のように紫色に染色され，toluidine blue により粘液多糖類が metachromasia をおこしていると考えられる。いろいろな塩基性色素は種々のコロイドイオンの存在で metachromasy 現象を起すが，これは Dangeard (1916) によって植物細胞の vacuole 中にこのような現象を起こさせるコロイド質の存在する事を見出して以来，藻類では Andō (1955, 1958) が Laminariaceae における metachromasy について述べている。横断面では hair conceptacle が表層から皮層にかけて存在する位置の関係やその形状，大きさについて知ることが出来る。Hair conceptacle の内部に存在する

直径  $7\sim 8\ \mu\text{m}$  の円形状の細胞は hair の断面である。皮層の細胞質には緑色に染色した橢円形の顆粒体が観察され、おそらく、葉緑体であろうと推定されるが、他の組織層の細胞質の構造を解明することは困難である。Hair conceptacle が斜めに切断された断面では、表層細胞と窪みを形成する細胞との連続性がよく分かり、窪み内の基部の細胞の1つが伸びて毛の細胞を形成している状態が観察される (Fig. 8)。縦断面の OLM 像でもやはり表層の細胞が落ち込んで、hair conceptacle の窪みになっている状態が分かる。窪みの深さは葉状部の厚さの  $1/3$  くらいあり、hair はその窪み内から外部に向かって生じている (Fig. 2)。表層から hair conceptacle への分化はその初期発生を詳細に観察しなければ解明しないが、Yendo (1911) はすでに幼葉の時期にその分化が現われるとしている。縦断面での観察により、表層と hair conceptacle の基部が連続している状態や、基部から hair がどのような形で生じているか等を組織面から観察することが出来る。Hair 縦断面の光顕像では hair は円筒状の細胞が縦に連なったものであり、基部に近い細胞の長径は短く、先端部に近い細胞の長径は長く、最先端はやや鋭角である (Fig. 5, 油浸) 等、油浸による観察では Fig. 2 に比較して hair の形状をより詳細に観察出来るが、細胞質に見られる小顆粒物の正体は不明である。一般に顕微鏡の分解能は波長 ( $\lambda$ ) と対物レンズの開口数で決まるといわれており (De Robertis 1975, 東ら1973, 水平1971), 大部分の媒質の屈折率は1.6をこえないので、レンズの最大開口数は1.6をこえることはなく、OLM の場合、油浸の方法を用いても開口数はおよそ1.4である。従って、OLM の分解能は  $5\sim 0.2\ \mu\text{m}$  の範囲にあり、これ以上の細胞内構造の解明は困難と考えられる。

## (2) SEM による観察

試料表面観察用の SEM の原理はすでに Everhart et al (1960), Hayat (1968), Thornton (1968), Wells (1974), 市ノ川 (1976) らや他の多くの成書によって紹介されているが、OLM ではレンズを用いて試料の拡大像を空間的な対応をもって同時に結像させるのに対し、SEM では試料上の場所的な分離を時系列の信号として取り出し、結像させるため、真の意味での結像レンズを持たない。このため、走査方式による結像の方式はいろいろの異なる信号を用いても容易に画像とすることの出来る特徴を持っている。走査像の倍率は試料面上の走査幅と cathode ray tube 上の走査幅との比で決定され、通常数10倍から10万倍程度の範囲で可変であるが、SEM が活用される倍率の範囲は OLM と TEM のギャップを埋め、500倍から5000倍が最も多い。SEM は主として試料からの二次電子量の多少を情報とする試料表面形態の観察 (Figs. 6, 7) であり、従って、試料は bulk のままで観察が可能である。このような特徴は Fig. 1, Fig. 2 の OLM 像との対応をもつき易く、二次電子像のコントラストが変化することで Fig. 7 に示すように像にコントラストがつき、しかも像の焦点深

度 ( $1000\ \mu\text{m at}\times 500$ ) が深い特徴から, hair の生じ方があたかも立体的な様相を示して捉えられており, hair の縦につらなる細胞間のくびれや, 表皮の表面の凹凸および, mucilage gland の表皮上の排出口等の立体観察が可能である。このような試料表面の topography 情報は, 真空中鏡体で細く絞られた電子ビームを試料表面に入射し, 発生する二次電子流の多少が, 入射点の凹凸に応じ変化する現象を利用して得られるためであるとされている (永谷 1980)。また, OLM の分解能が  $5\sim 0.2\ \mu\text{m}$  に対して, SEM は  $100\ \text{\AA}$  の分解能を持っており, 強拡大では 1 本の hair を形成する 1 つ 1 つの細胞の形態から, 細胞表面の凹凸の状態等の, 微細構造の観察が可能である (Fig. 6)。一般に生物の組織試料は, 密度の低い軽元素成分で構成されているが, SEM の試料作成法で述べているようにさらに Au を数  $\mu\text{m}$  コーティングすることにより, 試料表面の密度を低くしてあるため, 高分解能が得やすいと考えられる。

### (3) TEM による観察

TEM の分解能は  $3\sim 1\ \text{\AA}$  に達し, 細胞の超微構造や, 細胞の構成要素や物質の超微構造, 分子配列, 分子形態などの研究に広く利用されている。前述のごとく, OLM や SEM では細胞内の微細構造の解明が困難であるため, TEM による観察を試みた。電子線は物質の透過度が低く,  $50\sim 100\ \text{kV}$  の加速電圧では  $0.5\ \mu\text{m}$  以上の厚さの試料はほとんど透過し得ないので, 超薄切片にする必要がある。そこで  $200\sim 400\ \text{\AA}$  の切片を作製し, 試料の解像をよくするため, 重金属化合物を用いて電子染色を行なった。その結果, hair conceptacle の横断面では, hair の細胞の断面が円形状に観察され, 細胞壁の厚さ, 細胞壁や hair conceptacle の基部および, hair と hair の間の基質の構成物質, 細胞質の核, 核小体, 葉緑体, mitochondria, Golgi body, vacuol 等の小器官の形状の判別が可能である (Fig. 9)。Hair の縦断面では, 核質を構成する微小な顆粒物質や,  $7\sim 8$  枚の lamellae からなるよく発達した Golgi body や, 葉緑体, mitochondria が観察される (Fig. 10)。Hair の葉緑体は表層や皮層細胞の葉緑体 (奥田 1980, b) に比べて発達が悪い。

## 2. Mucilage gland の形態と粘質物分泌について

Mucilage gland はある種の粘質物を包含し, これを分泌して藻の体表面に粘性を与える役割を果たしているといわれている。この細胞内の粘質物については, Kylin (1913, 1918, 1938), Sauvageau (1916), 安藤 (1951, 1955, 1958) らの研究によると, アルギン酸質とフェノール系化合物が何等かの結合状態で共存するとしているが, その形態や, 粘質物分泌の機構については不明な点が多い。そこで筆者は TEM を使用することにより, 細胞の微細な内部構造をある程度明らかにすることが出来た (奥田 1980, b)。また, 種々の染色法を用いて染色し, 比較実験を行なった結果, 個々の細胞により, 粘質物の包含状態に差異のある

ことが明らかになった(奥田ら1979)。本項ではさらに SEM による観察結果を加えて、形態学的、細胞学的面から比較検討してみたい。

### (1) OLM (standard) による観察

Toluidine blue 染色を施し、表皮の表面を観察すると、mucilage gland の頂部は表皮の表面上に開口しているのが分かる (Fig. 3)。Mucilage gland は表層、皮層、髄層にかけて存在し、直径 50  $\mu\text{m}$  前後のほぼ球状に近い細胞で、その横断面では部分的に網目状の膜の存在が認められる (Fig. 4)。Toluidine blue 染色は細胞内部の膜状物質も染色され、染色度の濃淡によって粘質物の充満度も判別出来る(奥田ら1979)など、OLM レベルでの観察方法としては適した手法であるといえる。横断面を toluidine blue 染色し、油浸の500倍で観察することによって、細胞内部に連続した袋状の膜や、膜の内側に小顆粒状の粘質物と考えられる物質が存在する (Fig. 15) 状態を、強拡大の観察によって、ある程度明らかにすることが出来るが、薄い袋状の膜や、粘質物の微細構造を捉えることは困難である。

### (2) SEM による観察

表皮の表面を SEM で観察すると、起伏に富む細胞壁の所々に綿帽子状の物質が見られる (Fig. 11)。強拡大の観察では、表皮の表面上に開口した mucilage gland から粘質物がまさに放出される直前の像を捉えており、内部から粘質物が盛り上って、周囲の topography 状の細胞壁は半流動体の粘質物によって、一部分が埋まっている (Fig. 12)。Gland の開口部から放出される粘質物は、雲状に表皮の表面上に広がる (Fig. 13)。粘質物の放出を終わった開口部は表面に穴状に露出しており、内部は空洞化しているように見える (Fig. 14)。以上のように SEM による試料表面の情報からも、mucilage gland の粘質物の分泌、蓄積、排出に到る過程には1つのサイクルがあることを示している。

OLM 観察による粘液腺の分化についての文献 (Kasahara 1967, Yendo 1909) では成熟した mucilage gland に supraglandular space の存在の有無が論議されているが Fig. 12 のように粘質物が放出される直前の試料断面を光顕で観察した場合、supraglandular space が存在すると考えられ、また、Fig. 14 のように粘質物の放出を終わった後の試料の断面では全く存在しないと結論づけられたのではないだろうか。どちらも mucilage gland の粘質物の分泌から放出に到る一過程での観察から来た結果ではないかと考えられ、試料作製時に粘質物の分泌から放出までの、どの段階で試料の固定を行ない、観察したかにより、結論に大きな違いをもたらす問題を提起しているものといえよう。

### (3) TEM による観察

光顕による観察では細胞内部に連続した袋状の膜が観察されたが (Fig. 15, 油浸)、TEM によると、袋は互いに密着し、2枚の膜で構成された薄い膜状物質は網目状に連続している

(Fig. 16)。不定形な袋の内部は図のように電子的に透明であるが、筆者（奥田1980, b）は別の mucilage gland の袋の内部に電子密度中等度な粘質物や電子密度の高い粘質物を観察している。膜の網目構造の一部に葉緑体が組みこまれており、他の mucilage gland では mitochondria や Golgi body 等も観察された。SEM の Fig. 13 に相当すると考えられる横断面の像では、細胞壁の開口部から内部の粘質物が放出されている状態を示しており、細胞内部に粘質物がまだいく分残存している (Fig. 17)。

Mucilage gland とその周囲に存在する皮層細胞の内部構造の違いを比較してみると、皮層細胞には葉緑体、核、mitochondria、Golgi body、vacuol、等の小器官が認められるが (Fig. 18), Fig. 16 に見られるような袋状物質は観察されず、発生の初期の段階で mucilage gland と他の細胞との分化が行なわれたものと推定され、現在生活史を追って観察を続けているので、その詳細については次の機会に譲りたい。

#### IV 要 約

藻類の組織、器官および細胞の形態を詳細にしかも正確に観察するには、従来から使用されていた OLM の他に、最近では SEM、および TEM が形態研究に有力な情報を提供している。SEM が開発されてから20年、生物学方面に導入されてからわずか10年に過ぎない。SEM による藻類の最近の研究では Garbary (1981), Kobayasi (1979, 1981), Mizuno (1981), Gotoh (1980), Tokahashi (1978), Pickett-Heaps (1975) など、国内外で多数にのぼり、焦点深度が非常に深いことから、表面構造は数  $\mu\text{m}$  の深さを記録することが可能になった。また、近年における TEM 自体の驚異的な進歩と相まって、その自然科学への応用はほとんどあらゆる分野に浸透し、藻類の研究分野においても、もはや欠くことの出来ない有力な研究手段の一つである。その特徴は細胞内の超微細構造を捉え、特に細胞器官の機能解明に大きく貢献出来るものと考えられる。

今回、OLM, SEM, TEM を用い、*Undaria pinnatifida* を試料として、*Undaria* の特徴として上げられる、hair conceptacle, mucilage gland の形態および、その微細構造をどの程度明らかに出来るか検討した結果 (Table 1), SEM で得られた像は、OLM, TEM の断面像から想像していた立体像と著しく異なるものではないが、微細な点まで鮮明な像として観察出来る利点があり、視覚に実感として訴えられる効果は大きく、OLM や TEM ではなかなか分かりにくかった変化が、前述のごとく立体的な表面構造の変化として見る事が出来る。しかし、単に SEM の像を捉えるだけでなく、まず OLM で裏づけを行ない、TEM による断面像と十分に比較して像の解析をしなければならない。OLM, SEM, TEM 等の共用によって研究が進められることによって、組織、器官および細胞の形態を詳細にしかも

Table 1. Various structures of tissue and cytoplasm.

Hair, Hair conceptacle		Mucilage gland
OLM	Positional relation between tissues. Diameter of hair conceptacle. Elucidation of constituents by different kinds of staining methods.	Positional relation between tissues. Diameter of mucilage gland. Elucidation of constituents by different kinds of staining methods.
SEM	Three-dimensional surface structure. Surface image of topography of cell walls of Epidermal layer and hair. Villus-like projection of cell wall.	Three-dimensional surface structure. Secretion and ejection of mucilage.
TEM	Thickness and constituents of cell wall. Villus-like projection of cell wall.  Structure and size of cell organella. Nucleus, Nucleolus, Chloroplast, Mitochondria, Goldi body, Vacuole, Granule	Thickness and constituents of cell wall. Ejection of mucilage from pore. Intracellular structure. Vesicular membrane and mucilage Structure and size of other cell organella. Chloroplast, Mitochondria, Goldi body

正確に観察することが出来る。その結果、単なる構造論にとどまらず、形態と機能が結びついた functional ultrastructure の領域での議論が可能になるものと考えられる。

終りに、終始御懇切な御指導を下さいました筑紫女学園短大 川上いつゑ教授、広島大学 原爆放射能医学研究所 岡本直正教授、佐藤幸男助教授に深く感謝いたします。

## 引用文献

- 奥田弘枝 広島女学院大学論集, 1980. a, 30 : 186.  
Dangeard, P. Bull. Soc. Bot. Fr., 1916. 63.  
Andô, Y. Medicine and Biology, 1955. 37 : 21-25.  
Andô, Y. Jap. J. Pycol., 1958. 6 : 45-50.  
Yendo, K. Ann. Bot., 1911. 25 : 691.  
De Robertis, E. D. P. et al, Cell Biology, Sanders, W. B. Comp. 1975. 内蘭耕二監訳, 細胞生物学, 出版センター, 85-91.  
東 昇, 遠山 益 電子顕微鏡学実習, 一生物学・医学への応用一, 共立出版, 1973. 2.  
水平敏知 電子顕微鏡, 一医学生物学への応用一, 医歯薬出版, 1971. 1-2.  
Everhart, T. E. and Thornley, J. R. F. M. J. Sci. Instr., 1960. 37 : 246.  
Hayat, M. A. Introduction to Biological Scanning Electron Microscopy, University Park Press, 1968. 33.  
Thornton, P. R. Scanning Electron Microscopy, Chapman & Hall Ltd, London, 1968. 100.



- Wells, O. C. Scanning Electron Microscopy, McGraw-Hill, New York, 1974. 25.
- 市ノ川竹男 走査電子顕微鏡，日本電子顕微鏡学会関東支部編，共立出版，1976. 3—7.
- 永谷 隆 図説走査電子顕微鏡，田中敬一，永谷隆編，朝倉書店，1980. 25.
- 奥田弘枝 Jap. J. Phycol., 1980. b, 28 : 256-263.
- Kylin, H. Z. Physiol. Chem. 1913. 83 : 193.
- Kylin, H. Ber. Deut. Bot. Ges. 1918. 36 : 10-19.
- Kylin, H. Kungl. Fysiografiska Sällskapets Lund, Föreläsningar, 1938. 20 : 1—10.
- Sauvageau, G. Cell Res., 1916. 162 : 921.
- Andō, Y. Bot. Mag. Tokyo, 1951. 64 : 192-195.
- 奥田弘枝，諸川琴子 広島女学院大学論集，1979. 29 : 182—186.
- Kasahara, K. Bot. Mag. Tokyo, 1967. 80 : 285-286.
- Yendo, K. Ann. Bot., 1909. 23 : 613.
- Garbary, D. J. Johansen, H. W. and Scagel, R. F. Jap. J. Phycol., 1981. 29 : 7-13.
- Kobayasi, H. and Nozawa, M. Jap. J. Phycol., 1979. 27 : 193-199.
- Mizuno, M. Jap. J. Phycol., 1981. 29 : 95-99.
- Gotoh, T. Jap. J. Phycol., 1980. 28 : 151-155.
- Takahashi, E. Taxonomy and Ecology, Tokai University press, Tokyo, 1978. i-vi : 194.
- Pickett-Heaps, J. D. Green Algae, Sinauer Associates Inc., Sunderland, 1975. 1 : 606.

### Explanation of the Figures

- Fig. 1.** Transverse section of the hair conceptacle of the *Undaria pinnatifida*. Round hair cells are seen in the hair conceptacle. Toluidine blue staining. ×900
- Fig. 2.** Longitudinal section of the hair conceptacle of the *Undaria pinnatifida*. Depression of the epidermal layer cells correspond to the basal part of the hair conceptacle. Toluidine blue staining. ×800
- Fig. 3.** Epidermal layer cells of the *Undaria pinnatifida*. The opening of the mucilage gland is seen (↑). Toluidine blue staining. ×1200
- Fig. 4.** Transverse section of the mucilage gland. Net-like membranes are observed in the gland. Toluidine blue staining. ×950
- Fig. 5.** Longitudinal section of the hair conceptacle. The arrangement of the hair cells are clearly seen. (oil immersion). ×1600
- Fig. 6.** High magnification of the hair cells of scanning electron micrograph. Partition of the cells are seen. ×5500
- Fig. 7.** Scanning electron micrograph of the surface of the *Undaria pinnatifida*. Hair and opening of the mucilage glands (↑) are observed. ×1500
- Fig. 8.** Slanting figure of the hair conceptacle. The developing hair cells from depressed basal cells of the epidermal cells are noticed. ×650
- Fig. 9.** Transvers hair cells of electron micrograph. Nucleus (N), Golgi body (G), mitochondria (↑) and chloroplast (↑↑) are observed. ×8000
- Fig. 10.** Electron micrograph of longitudinally sectioned hair cell. Though well developed Golgi body (G), mitochondria (M) are seen, chloroplasts (C) are not differentiated. ×25000
- Fig. 11.** Scanning electron micrograph of the epidermal layer of the *Undaria pinnatifida*. The arrows show opening of the mucilage glands. ×13000
- Fig. 12.** High magnification of the opening of mucilage gland just before the rupture of the mucilage. ×28000
- Fig. 13.** The figure show the out put of the mucilage from opening of the gland. ×1400
- Fig. 14.** Scanning electron micrograph of the opening of the gland just after the secretion of the mucilage. ×2500
- Fig. 15.** Light microscopic picture of the mucilage gland of the *Undaria pinnatifida*. The different concentrations of the mucilage are seen in net-like structures of a gland. ×2000
- Fig. 16.** Electron micrograph of mucilage gland. At this stage, the net-like structures contain electron opaque substances. The chloroplast (C) are seen in the membrane system. ×12000
- Fig. 17.** Electron micrograph of the longitudinally sectioned mucilage gland. The secreting mucilage is noticed (↑). ×3200
- Fig. 18.** Electron micrograph of a cortical cell. The chloroplast (C), mitochondria (M), Golgi body (G) and vacuole (V) are observed. ×8800











