

アコヤガイの中腸腺の構造

山元憲一・半田岳志・近藤昌和

Structure of the digestive diverticula of the Pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*

Ken-ichi Yamamoto*, Takeshi Handa*, and Masakazu Kondo*

The corrosion resin-casts and the tissue preparations of the digestive diverticula of the Pearl oyster, *Pinctada fucata martensii* were observed. The resin-casts were made of the prepolymerization methyl methacrylate (MercoxCL-2R) containing 10% Mercox MA. The tissue preparations were stained with Azan. The openings of the duct of digestive diverticula had five places (two orifices and three embayments) on the inner wall of the stomach. The inner wall of the duct was made up of the uniform flagellated cells which were the same in morphology as those of the inner wall of the stomach. The longitudinal grooves ran in the inner wall of the ducts from the openings to the tips. And the number of the groove decreased gradually from about ten at the opening to two near the tip of the duct.

1 緒言

二枚貝の中腸腺は、栄養吸収および老廃物の排泄に関与していると言われている^{1,2)}。このような中腸腺は、胃の周囲に位置し³⁾、胃に開口した導管で胃と連絡している⁴⁻⁷⁾。中腸腺の組織は、原鰓類、糸鰓類、等糸鰓類および真弁鰓類などについて調べられている⁷⁻⁹⁾。また、中腸腺の基本構造は組織像の観察から模式的に図示されており⁷⁻⁹⁾、胃と導管の一部は、ゼラチンを利用した鋳型からマガキ *Crassostrea gigas* で図示されている¹⁾。山元ら¹⁰⁾は、アコヤガイ *Pinctada fucata martensii* と同じ擬弁鰓類であるマガキの中腸腺について、半重合メチルメタクリレートを使って鋳型を作成し、観察している。

しかし、アコヤガイについては、中腸腺の組織像およびその立体構造について詳しく調べられた報告が見あたらない。そこで、著者らは、アコヤガイを用いて、鋳型および切片標本を作成し、固定標本を切開して、中腸腺の位置、立体構造および組織像を調べた。

2 材料および方法

実験には、殻高 72.8 ± 4.3 mm (平均値±標準偏差、以

下同様に表す)、殻長 64.4 ± 5.8 mmのもの70個体および殻高 12.8 ± 1.3 mm、殻長 12.4 ± 1.8 mmのもの10個体のアコヤガイを用いた。アコヤガイは、対馬の養殖場より入手し、殻の付着物を取り除いた後、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上の粒子を除去した海水を1 l/min注入した状態で5~10日間蓄養して、実験に供した。

鋳型 鋳型の作成は、マガキの場合¹⁰⁾と同様にして、主剤(MERCOX CL-2R, 応研商事株式会社) 3 ml当り硬化剤(MERCOX MA, 応研商事株式会社) 約0.1 gを混入したもの(以降、樹脂と表す)を用いて、次のようにして行った。まず、アコヤガイを約0.4 M/lの塩化マグネシウム水溶液に、約20分間浸漬して左殻を取り除いた。口から食道へ濾過海水を満したポリエチレン細管(外径約1 mm, 長さ20 cm, Hibiki No. 3)を約5 mm挿入し、プラスチックシリンジ(5 ml, Top)を使って3分間に約1.5 mlの速度で総量4.0 mlの樹脂を注入した。注入後、樹脂の逆流を防ぐために細管の一端を炎であぶって封入し、海水中に浸漬して樹脂を硬化させた。硬化後、20%水酸化ナトリウム水溶液に一昼夜浸漬して肉質部を除去し、水洗した。

胃の断面像 観察は、Davidson液(エタノール:ホルマリン:氷酢酸:蒸留水=66:44:23:67)¹¹⁾で固定後、安全剃刀で胃の部分を中心にして軟体部を切り開いて行った。

組織像 観察は、山元ら¹²⁾と同様にしてDavidson液で固定した後、常法に従ってパラフィン切片(4~10 μ m)を作成し、アザン染色して行った。小形のアコヤガイの場合には殻付きのまま一個体丸ごと、および大形の場合には胃を中心とした部分の切片を作成した。

3 結果

中腸腺は、食道、胃および晶体囊や腸の胃に近い部分の周囲に位置していた(Figs. 1~3)。しかし、胃の周囲では、鋳型(Fig. 1)、組織像(Fig. 2-Ab, Ba, Fig. 3-C)および胃を中心とした断面像(Fig. 4)から明らかなように、食道近くの殻の会合部に面した一部分は中腸腺が存在しなかった。

腸は、胃から真っ直ぐに下降した後反転し、下降した部分を中心に螺旋を描くようにして胃の近くまで上昇し、再び下降する単純な型をしていた(Fig. 1)。また、腸の長さや螺旋の様子は、個体差がほとんどなかった。

中腸腺の導管の開口部は、組織像(Fig. 3)からみるとD¹、D²、E¹およびE²で示した4箇所が確認された。しかし、それぞれの部位を胃を中心とした断面像でみると、D¹およびD²は3箇所ずつ開口し、E¹は1箇所、組織像で見られたE²の部位はE¹をはさんで左右に1箇所ずつ開口している様子が確認された(Fig. 4)。鋳型でも同様にE²の部位はE¹をはさんで左右に分かれて独立しているところが確認された(Fig. 5-Ab)。これらのことから、中腸腺への導管の開口部は5箇所あることが明らかとなった。これらを鋳型標本で見ると、導管は5箇所のいずれの部位も大きく盛り上がった1箇所から複数出ている形をしていた(Fig. 5)。

導管は、胃から中腸腺細管(Tubule)へ行くに従って枝分かれを繰り返して、次第に細くなっていた(Figs. 5, 6)。導管の構造は、胃の近くから中腸腺細管へ連絡するところまで一様で、周囲がFlagellated cellで囲まれ、内壁が繊毛で覆われていた(Figs. 7, 8)。このような構造は、胃の内壁(Fig. 8-B)とほぼ同じであった。また、導管は、縦に走る皺(Longitudinal groove)が胃の付近から中腸腺細管と連結する末端まで走っており、その数が胃の付近の約10本から末端へかけて2本に減少していた(Fig. 7)。

中腸腺細管は、導管と全く異なる組織像を示し、消化細胞(Digestive cell)とアザン染色で赤く染り、内壁に繊毛を有した暗細胞(Darkly staining cell)とからなり、その断面は概ね楕円形に近い形を示し、導管に縦に走る皺のよ

うなくびれた構造(Crypt)は認められなかった(Figs. 7, 8)。また、中腸腺細管は一室ずつ独立して導管の末端と連絡しており、導管とは異なった組織像を示していた(Figs. 6, 8)。

4 考察

Yonge¹¹⁾は、原鰓類、糸鰓類、真弁鰓類の34種を調べて、中腸腺はいずれも胃を囲むようにして存在していると報告している。アコヤガイでも同様に食道、胃および晶体囊や腸の部分の周囲に位置している様子は鋳型、組織像および胃を中心とした断面像からも明らかである。しかし、食道近くで殻の会合部分に面した胃の外側の一部には中腸腺が存在していなかった。このような様子は、アコヤガイと同じ擬弁鰓類であるマガキの場合¹⁰⁾と良く一致している。

腸の基本的な形はマガキ¹⁰⁾と同じであったが、腸の長さや螺旋の形などは、マガキ¹⁰⁾と異なって、個体差が認められず一様であった。このことは、アコヤガイはマガキと比較して体形に個体差がほとんどないためと考えられる。

Purchon^{4, 6)}は、中腸腺の導管が胃壁に開口している部位を2つに分けており、1つは導管が直接胃壁に開口しているところをOrifices(D)、胃壁の湾入したところに開口しているところをEmbayments(E)としている。それによるとアコヤガイの仲間である*Pinctada vulgaris*では、DはD¹とD²の2箇所、EはE¹とE²の2箇所あり、それぞれから導管が5, 1, 4~5および12個開口していると報告されている⁴⁾。それらのなかで、E²はE¹を中心に左右に広がっている様子が図示されている⁴⁾。アコヤガイの場合をPurchon⁴⁾に基づいて分けると、導管の開口部は*P. vulgaris*で見られる4箇所は確認された。しかし、D²での導管の開口は、*P. vulgaris*と異なって1個ではなく少なくとも3個あり、E²の部分はE¹の左右に完全に2箇所に分かれていた。これらのことから、アコヤガイでは、導管の開口部は*P. vulgaris*と多少異なり、5箇所に分けられると考えられる。

導管が胃から中腸腺細管へ進むに従って枝分かれして次第に細くなる構造は、原鰓類のクルミガイ科Nuculidae、等糸鰓類および真弁鰓類について図示されているものと同様である⁷⁾。しかし、等糸鰓類および真弁鰓類では、導管は主導管(Main duct)と二次導管(Secondary duct)とに分かれ、主導管は断面をみると繊毛で覆われている部分と刷子緑で覆われている部分に分かれて構成され、二次導管は全体が後者の部分と同様の組織からなっている⁸⁾。山元

ら¹⁰⁾は、擬弁鰓類であるマガキでは、二次導管も前記の主導管と同様に2つに分かれた構造であることを報告している。一方、原鰓類のクルマガイ科の*Nucula sulcata*では、主導管が前記の二次導管と同様な構造を示し、二次導管は全く異なって内壁全体が長い繊毛で覆われている⁷⁾。しかし、アコヤガイの導管は、前記のような主導管と二次導管の構造の違いがなく、全体に一樣で、内壁が胃と同様なFlagellated cellからなり、繊毛で覆われ、縦に走る皺が先端まで走っていた。これらのことから、アコヤガイの導管は原鰓類、等糸鰓類および真弁鰓類と異なり、同じ擬弁鰓類であるマガキとも異なって、導管の構造が特異なことが明らかとなった。また、導管の繊毛は全体が短いことから、*N. sulcata*の二次導管の繊毛の様相とも異なると推測される。

中腸腺細管は、糸鰓類である*Anadara subcrenata*や*Brachidontes senhousia*では導管の末端から分かれた後に、中腸腺細管が更に枝分かれし (Simple branching type II)、等糸鰓類や真弁鰓類の全ての種類では導管の末端に1つずつ独立して分かれた形をしている (Simple branching type I)⁸⁾。アコヤガイでも、中腸腺細管と導管の関係は等糸鰓類や真弁鰓類と同様であった。

中腸腺細管の暗細胞は、繊毛を備えており、若い細胞で将来栄養細胞になると推測されている¹¹⁾。暗細胞は、真弁鰓類ではCryptに存在している¹²⁾。しかし、原鰓類ではある*N. sulcata*や等糸鰓類であるムラサキガイ*Mytilus edulis*ではCryptが存在しないため、暗細胞の中腸腺細管での位置は一定の傾向を認めがたい¹³⁾。アコヤガイでもCryptがなく、暗細胞は後者と同様であった。

プランクトンを捕食している等糸鰓類や真弁鰓類では、捕食した粒子は胃から主導管のBの部位を中腸腺細管へ運び、Aの部位で中腸腺細管から未消化物や老廃物を胃へ運んでいるとされている⁸⁾。この時、胃および中腸腺で消化したものは導管の刷子縁のところの細胞および中腸腺細管で行い、中腸腺細管まで運ばれた微細な粒子は中腸腺細管の栄養細胞で細胞捕食もしているとされている⁸⁾。Mathers²⁾はヨーロッパマガキ*Ostrea edulis*にC¹⁴でラベルした*Isochrysis galbana*を捕食させて、導管の刷子縁のところの細胞および中腸腺細管での取り込みを確認している。一方、テトラヒタスを捕食する*N. sulcata*では、導管への入り口付近の胃の繊毛および二次導管の繊毛はいずれも中腸腺細管から胃へ向けて動かしており、導管や中腸腺細管には筋組織が発達していないことから、導管内を中腸腺細管へ粒子を送ることはなく、中腸腺は排泄にのみ関与し、消

化吸収は胃と腸で行っていると推測されている⁷⁾。これらのことから、アコヤガイでは、中腸腺は導管の構造からすると*N. sulcata*と同様に、排泄に関与していると考えられる。しかし、プランクトン食であることからすると、中腸腺は等糸鰓類や真弁鰓類と同様に、消化吸収も行っていると考えられる。この場合には、導管の繊毛は胃あるいは中腸腺細管へと反対方向に運動する部位に分かれている可能性が考えられる。

5 要約

アコヤガイの中腸腺の構造を鋳型および組織像から調べた。導管は胃壁の5箇所に開口しており、細胞の構造が先端まで一樣で胃と同様なFlagellated cellからなり、縦に走る皺が先端まで走っていた。

謝辞

本研究の一部は愛媛県水産試験場委託調査業務によって行ったものである。ここに謝意を表する。

文献

- 1) Yonge, C. M. : Structure and physiology of the organs of feeding and digestion in *Ostrea edulis*. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 14, 295-386 (1926).
- 2) Mathers, N. F. : The tracing of a natural algal food labelled with a carbon 14 isotope through the digestive tract of *Ostrea edulis* L. *Proc. malac. Soc. Lond.*, 40, 115-124 (1972).
- 3) Yonge, C. M. : The digestive diverticula in the lamellibranchs. *Trans. Roy. Soc. Edinb.*, 54, 703-718 (1926).
- 4) Purchon, R. D. : The stomach in the Filibranchia and Pseudolamellibranchia. *Proc. Zool. Soc., London*, 129, 27-60 (1957).
- 5) Purchon, R. D. : The stomach in the Eulamellibranchia; Stomach type IV. *Proc. Zool. Soc., London*, 131, 487-525 (1958).
- 6) Purchon, R. D. : The stomach in the Eulamellibranchia; Stomach type IV and V. *Proc. Zool. Soc., London*, 135, 431-489 (1960).
- 7) Owen, G. : Observations on the stomach and digestive diverticula of the lamellibranchia. II. The Nuculidae.

- Quart. J. micr. Sci.*, 97, 541-567 (1955).
- 8) Owen, G. : Observations on the stomach and digestive diverticula of the lamellibranchia. I. The Anisomyaria and Eulamellibranchia. *Quart. J. micr. Sci.*, 97, 517-537 (1955).
- 9) Nakazima, M. : On the structure and function of the mid-gut gland of Mollusca with a general consideration of the feeding habits and systematic relation. *Jpn. J. Zool.*, 11, 469-566 (1956).
- 10) 山元憲一・半田岳志・近藤昌和：マガキの中腸腺の鋳型作成の試み. 水大校研報, 51 (3), 71-80 (2003).
- 11) Bell, T. A. and D. V. Lightner : A handbook of normal Penaeid shrimp history. World aquaculture society, USA, pp 2.
- 12) 山元憲一・近藤昌和・半田岳志・林安章：アコヤガイの鰓換水に及ぼすホルマリンの影響. 水産増殖, 49 (4), 461-467 (2001).
- 13) Owen, G. : Lysosomes, peroxisomes and bivalves. *Sci. Prog., Oxf.* 60, 299-318 (1972).

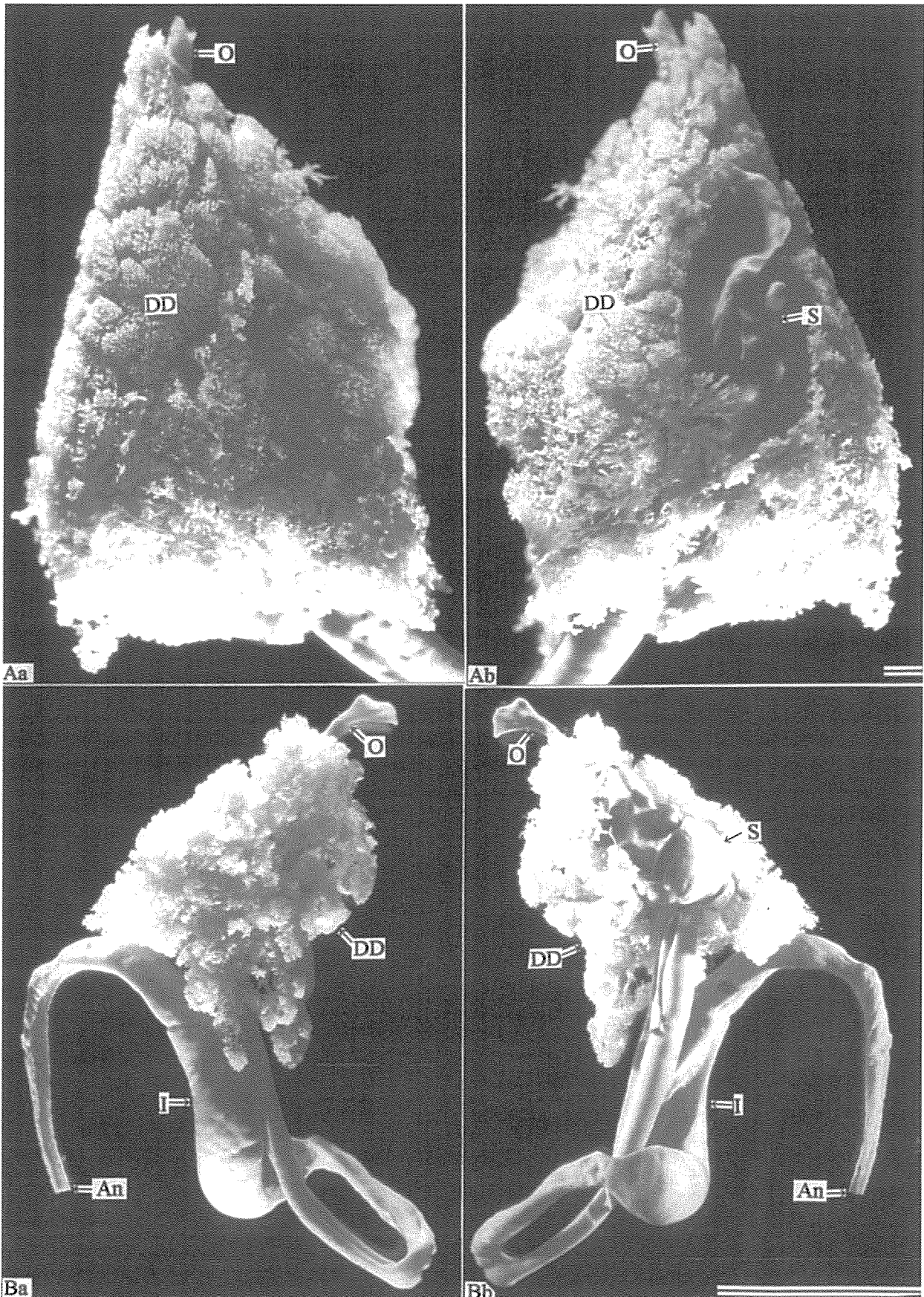


Fig. 1. *Pinctada fucata martensii*. Corrosion resin-cast of the digestive organ from right (a) and left aspects (b). O: oesophagus, DD: digestive diverticula, S: stomach, I: intestine, An: anus. Bar in A=1 mm and bar in B=10 mm.

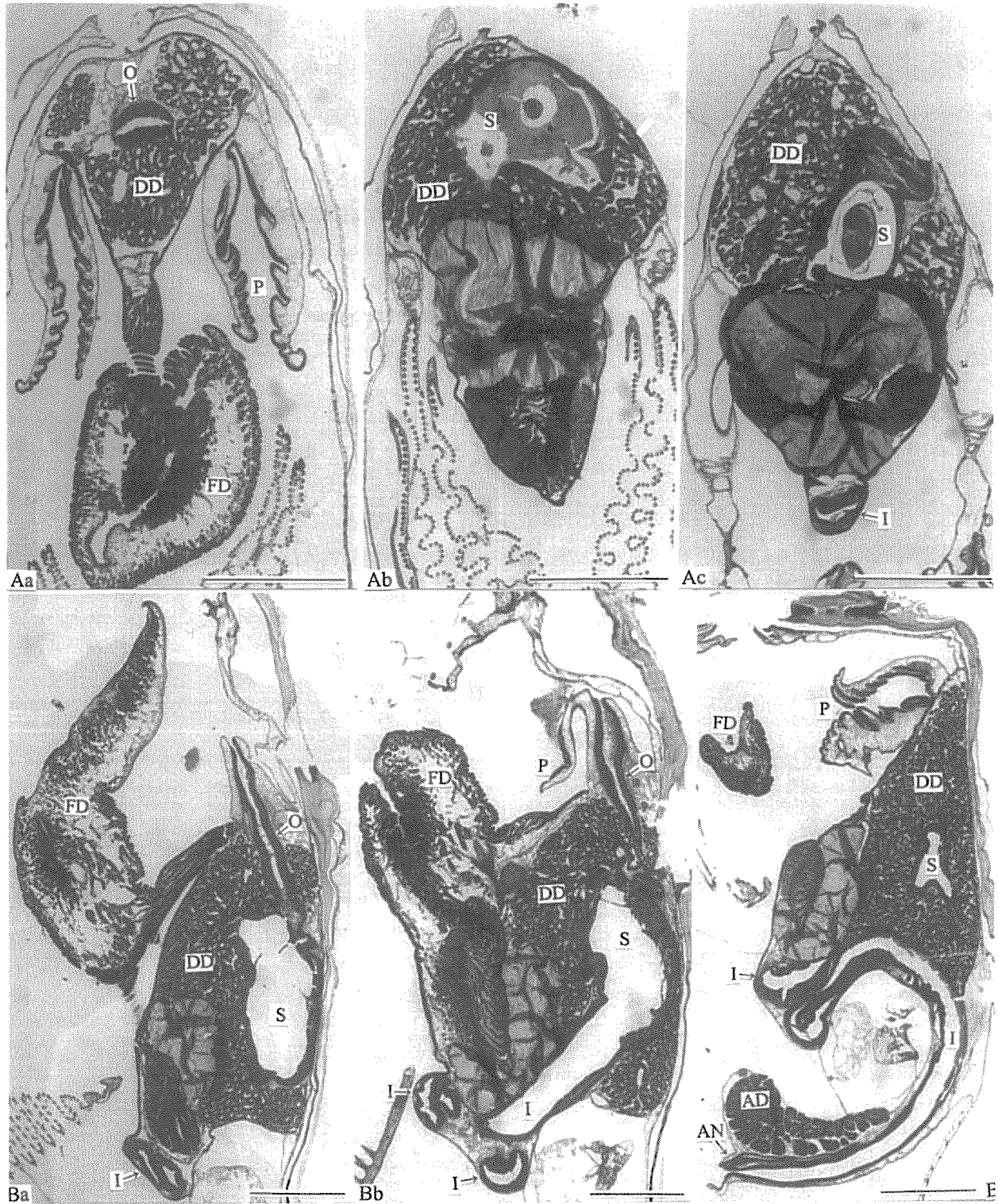


Fig. 2. *P. fucata martensii*. Transverse section from horizontal (A) and vertical aspects (B). O: oesophagus, DD: digestive diverticula, P: labial palp, FD: foot, S: stomach, I: intestine, AD: adductor, AN: anus. Azan. Bars = 1 mm.

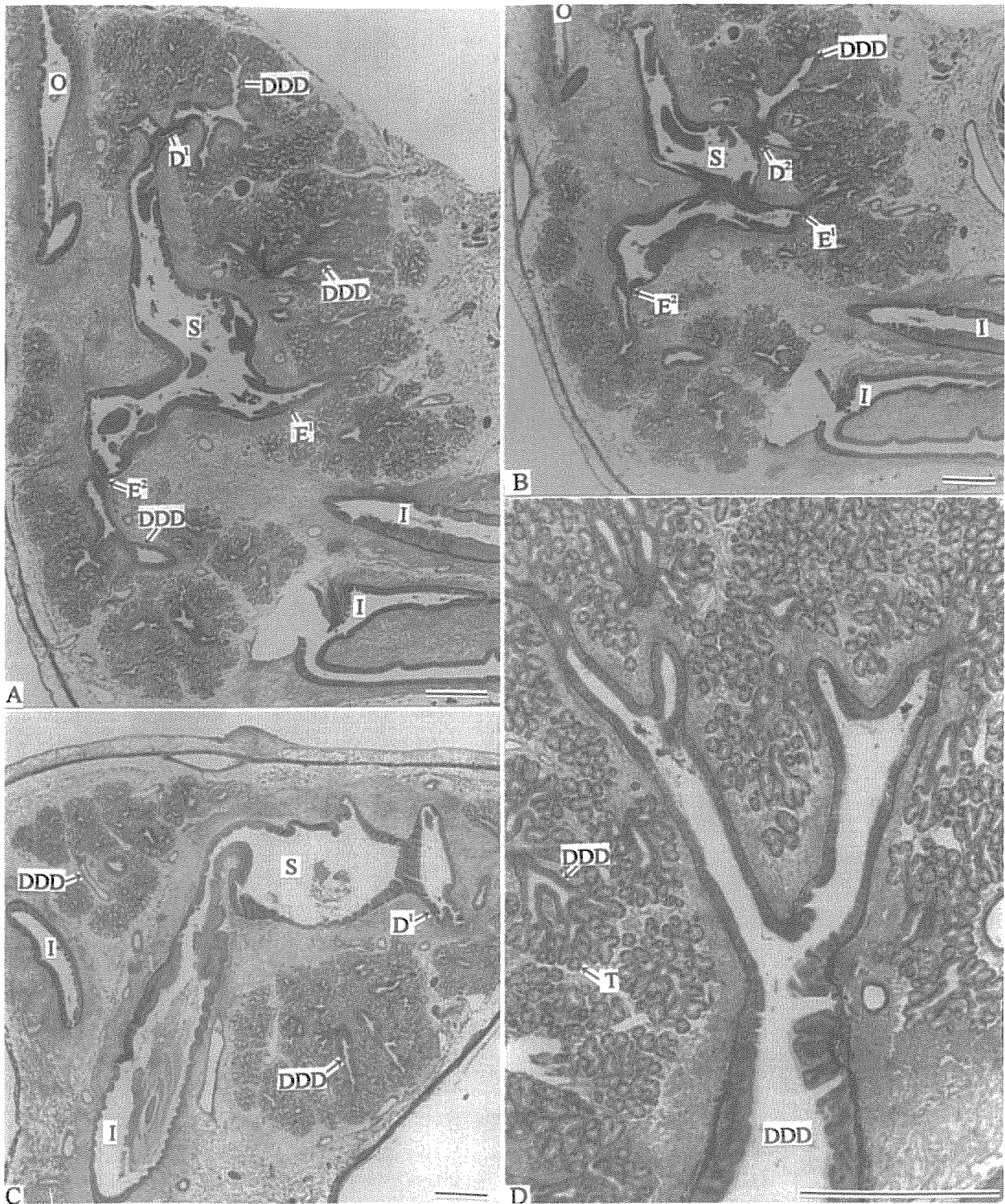


Fig. 3. *P. fucata martensii*. Transverse section of stomach and digestive diverticula. O: oesophagus, S: stomach, I: intestine, D¹ and D²: orifice, E¹ and E²: embayment, DDD: duct, T: tubule. Bars= 1 mm.

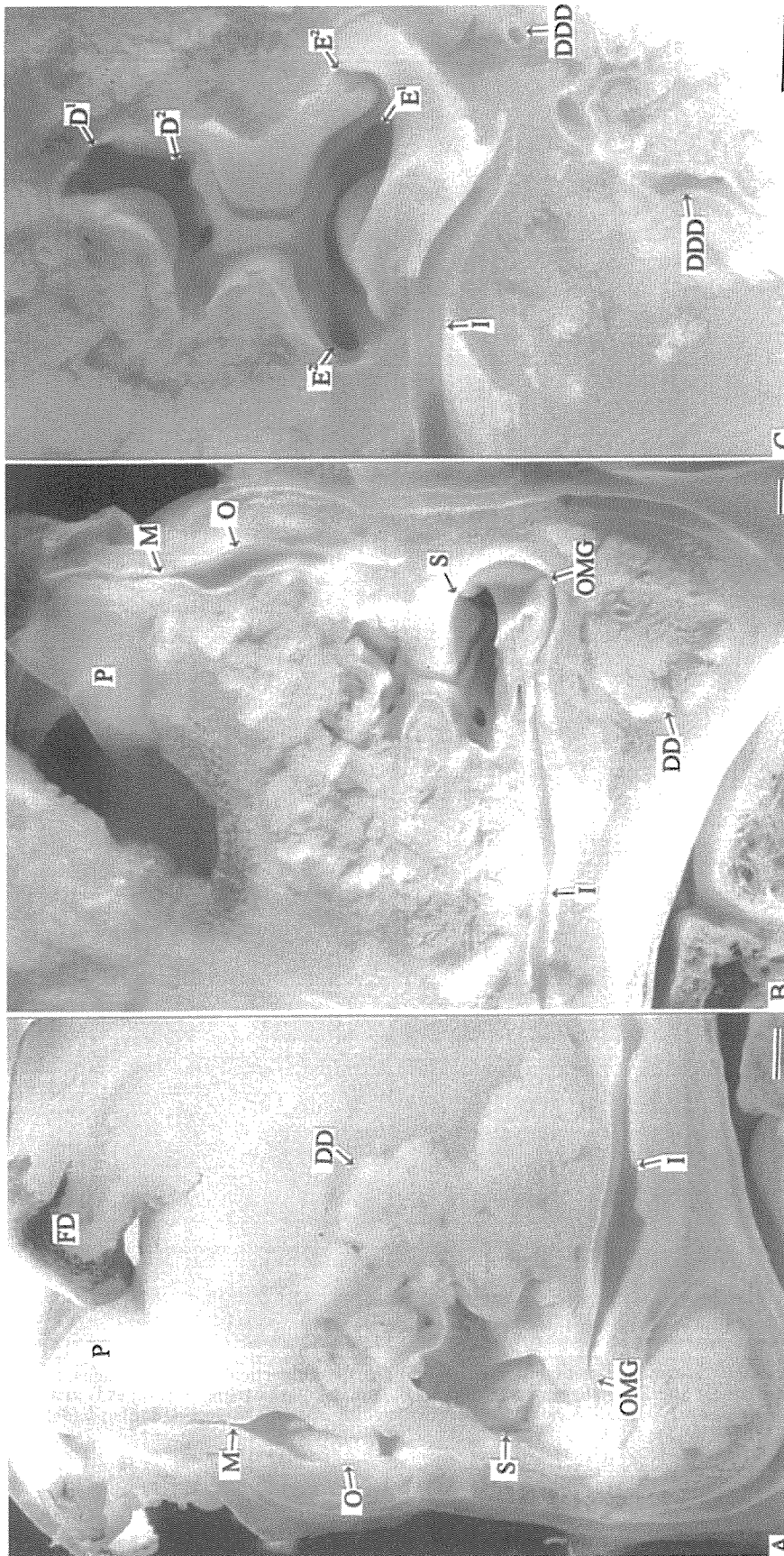


Fig. 4. *P. fucata martensii*. Transverse and horizontal section at the stomach from right (A) and left aspects (B and C). M: mouth, O: oesophagus, S: stomach, OMG: opening of mid-gut, I: intestine, DD: digestive diverticula, P: labial palp, FD: foot, D¹ and D²: orifice, E¹ and E²: embayment, DDD: duct. Bars=1 mm.

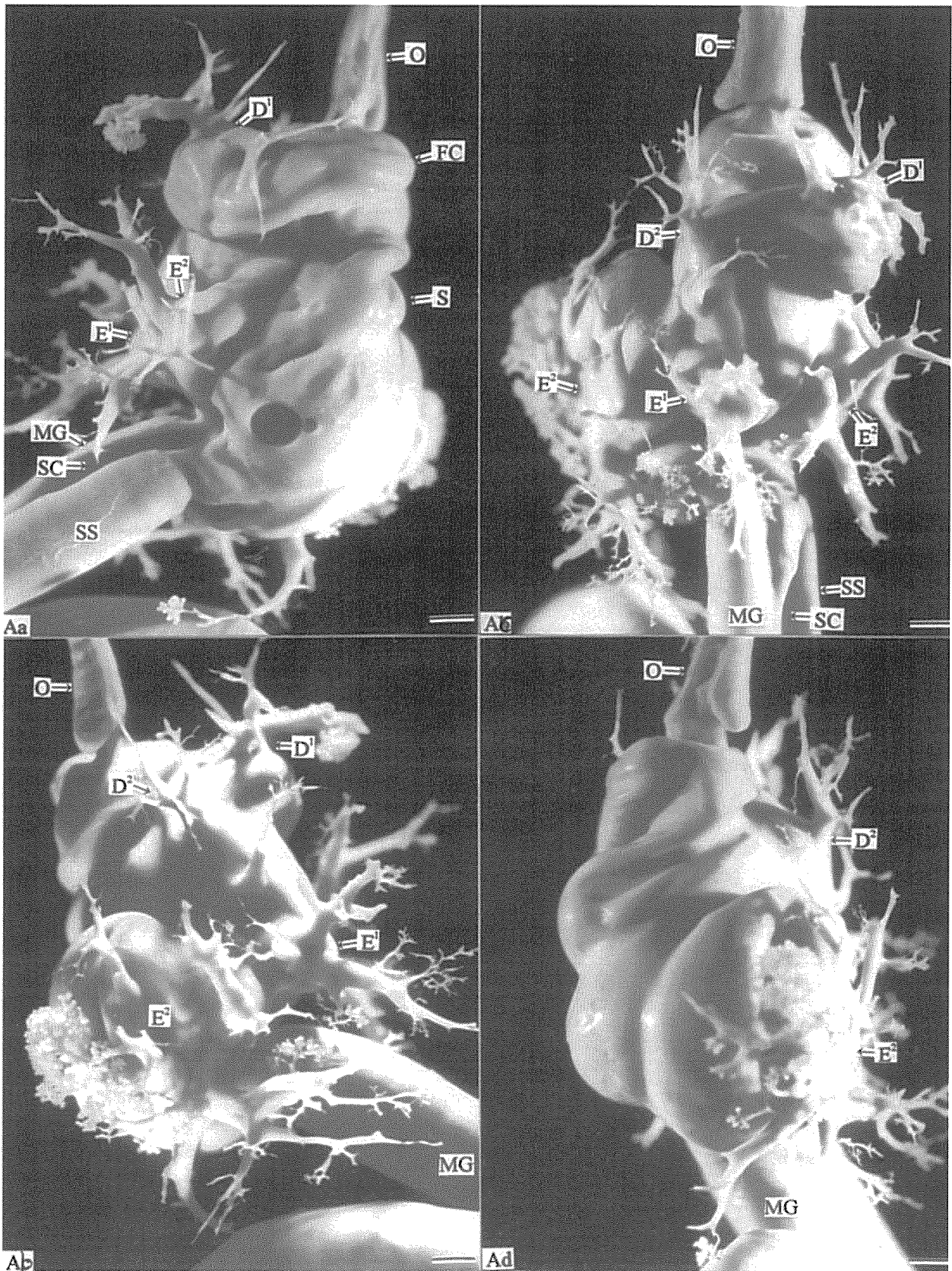


Fig. 5. *P. fucata martensii*. Corrosion resin-cast of the duct of digestive diverticula from right (a), left (b), dorsal aspects (c) and ventral side (d). A~E: five cases of the corrosion resin-cast, O: oesophagus, OMG: opening of mid-gut, SS: style-sac, MG: mid-gut, SC: slit connecting mid-gut and style-sac, I: intestine, D¹ and D²: orifice, E¹ and E²: embayment. Bars= 1 mm.

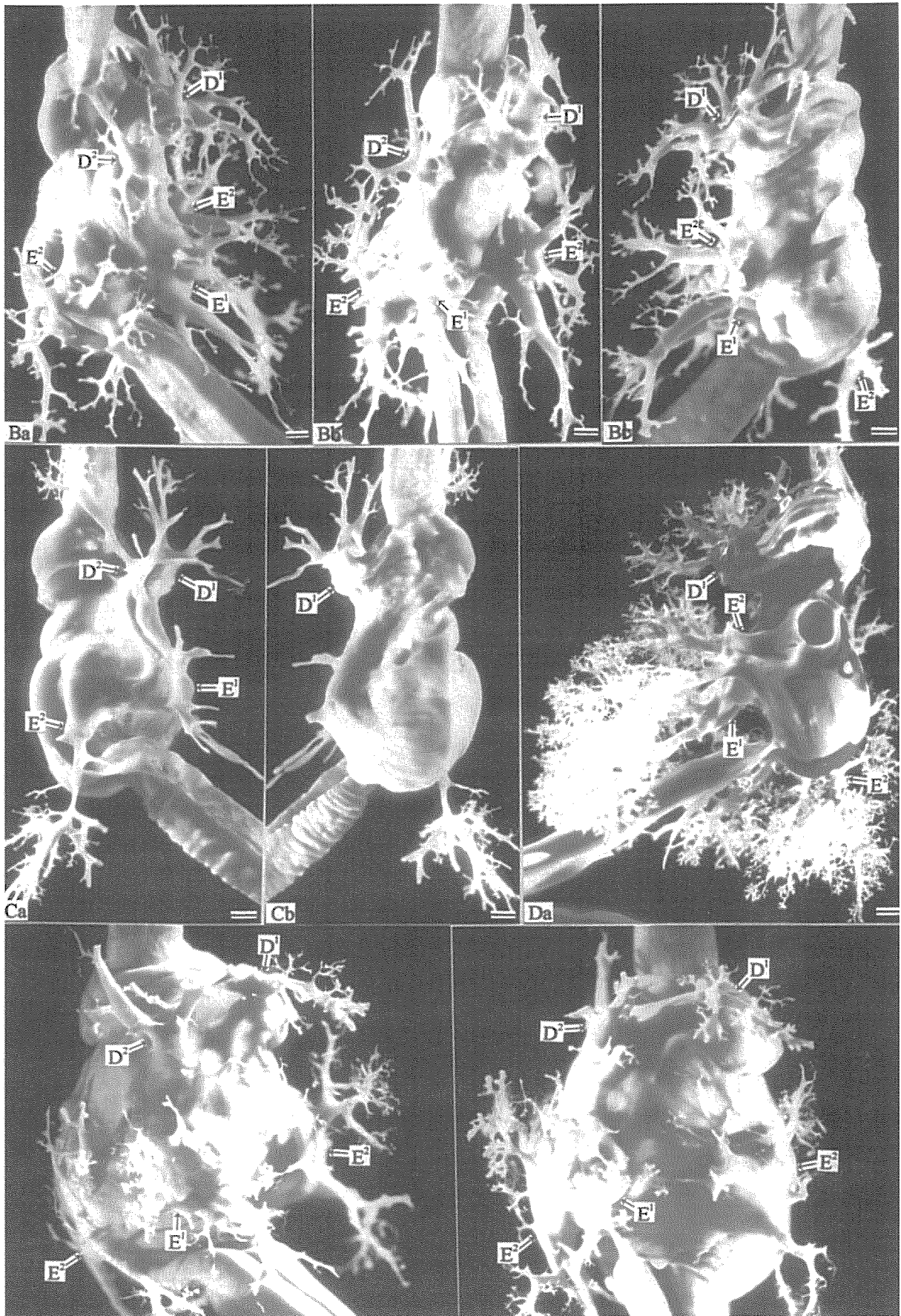


Fig. 5. *P. fucata martensii*. (B~E)

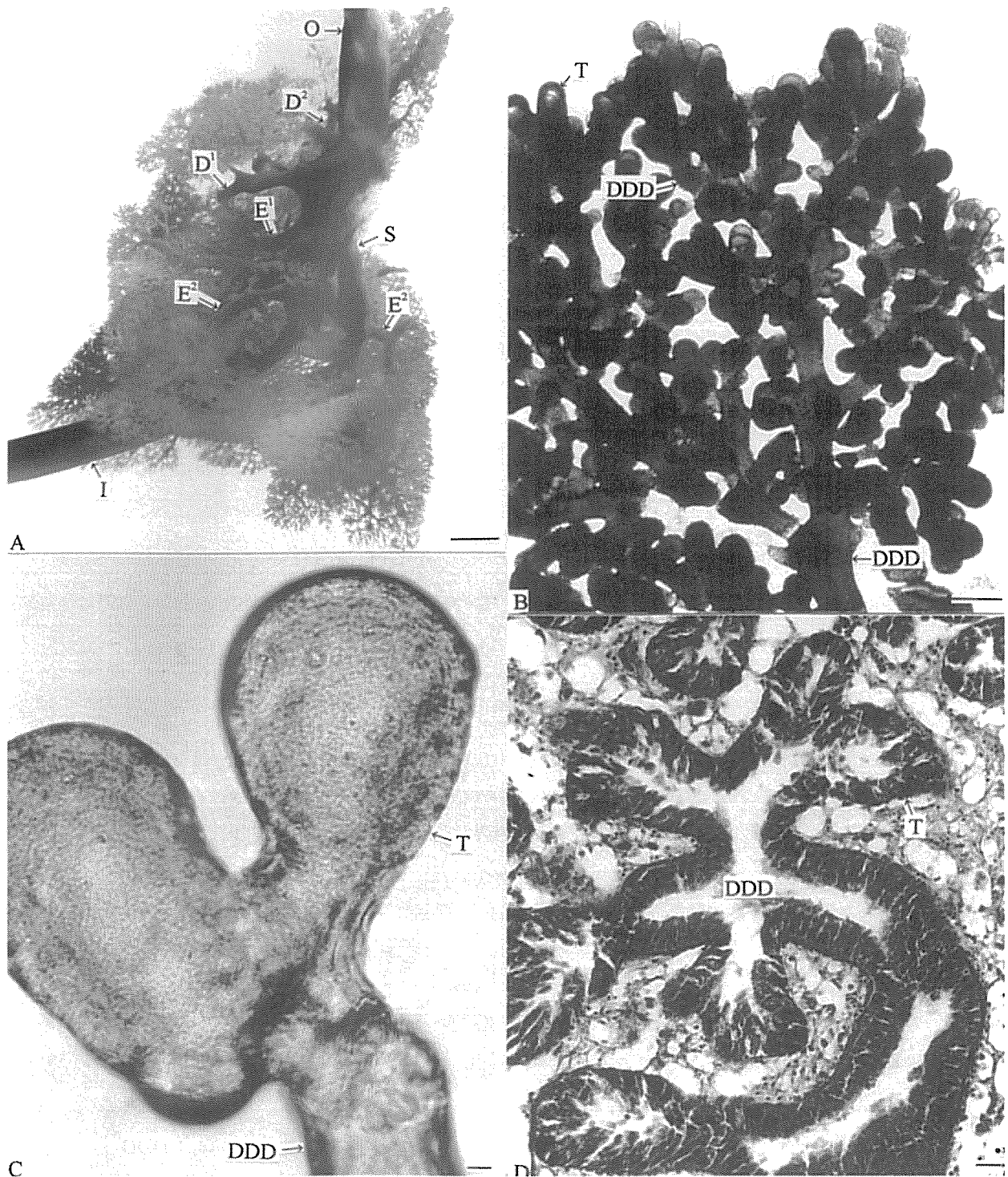


Fig. 6. *P. fucata martensii*. Corrosion resin-cast of digestive diverticula (A), corrosion resin-cast of the ducts of digestive diverticula and tubules (B, C), and longitudinal section of secondary duct and tubules (D). O: oesophagus, S: stomach, I: intestine, D¹ and D²: orifice, E¹ and E²: embayment, DDD: duct, T: tubule. D=Azan. Bar in A = 1 mm, bar in B=100 μ m and other bars=10 μ m.

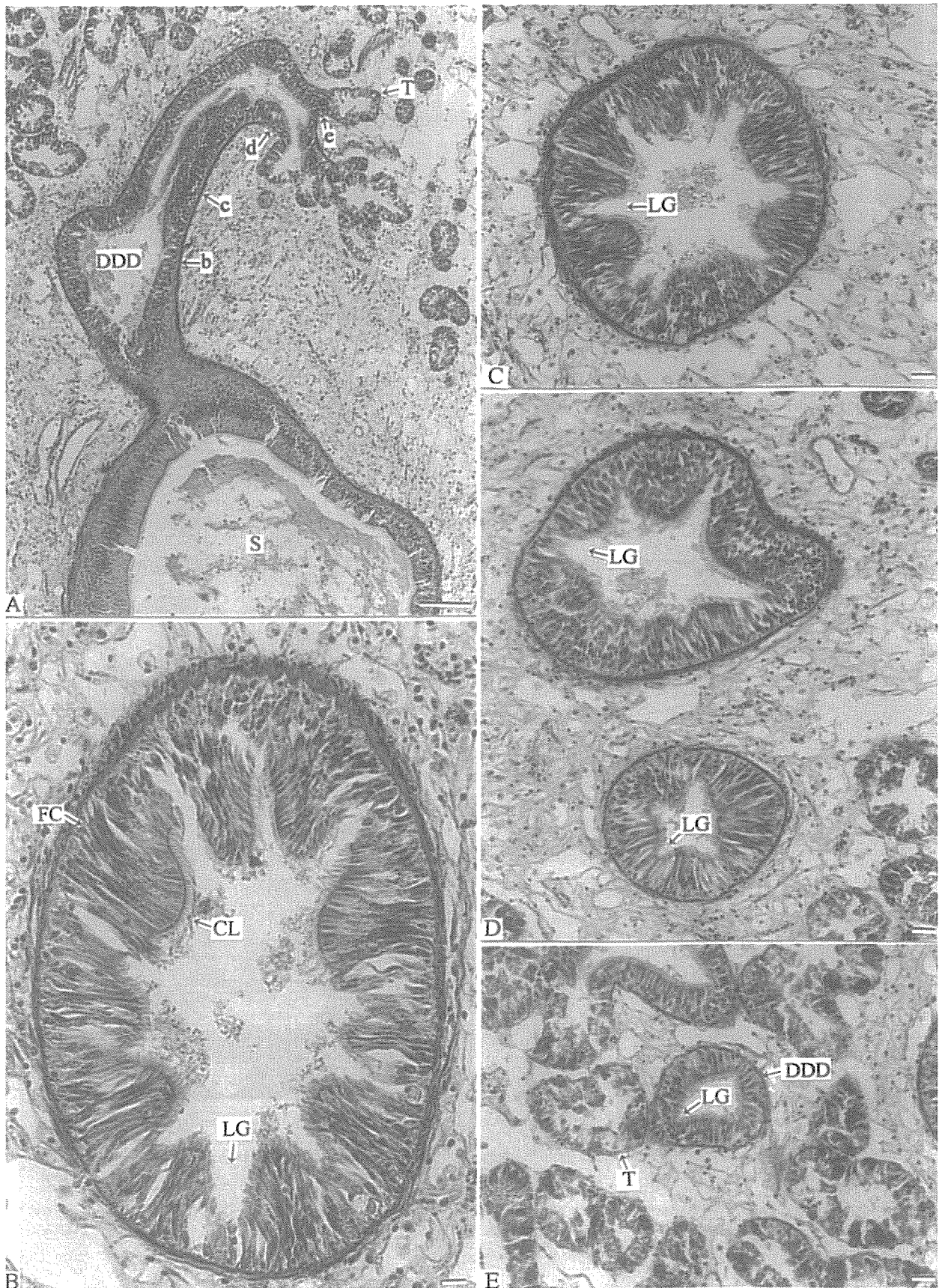


Fig. 7. *P. fucata martensii*. Longitudinal section of digestive diverticula (A) and cross section of duct of digestive diverticula (B~E). B, C, D and E is cross section at b, c, d and e in A, respectively. DDD: duct, T: tubule, LG: longitudinal groove, CL: cilia, FC: flagellated cells, S: stomach. Azan. Bar in A =100 μ m and other bars=10 μ m.

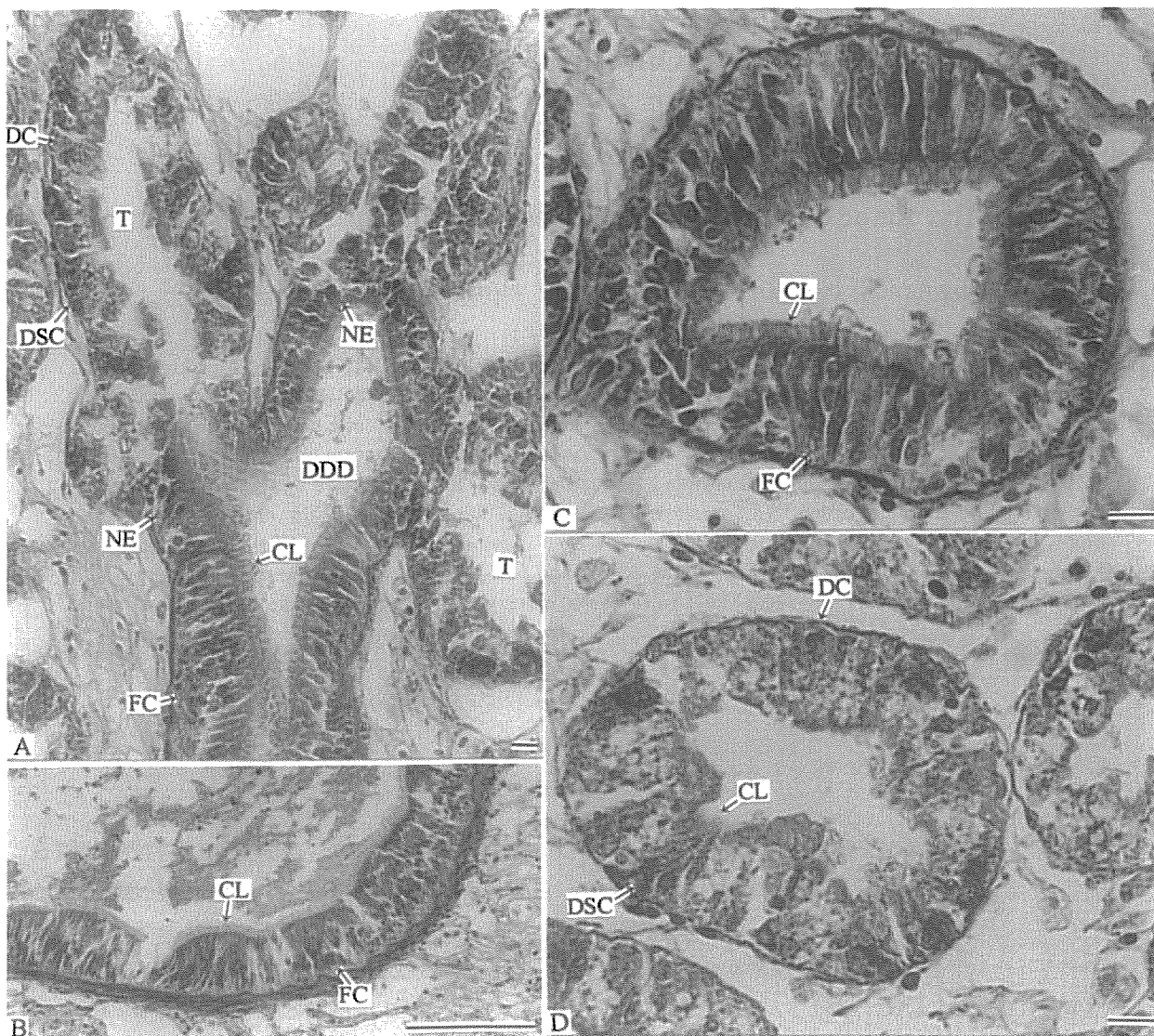


Fig. 8. *P. fucata martensii*. Longitudinal section of duct of digestive diverticula and tubules (A), cross section of stomach (B), cross section of duct of digestive diverticula (C) and cross section of tubule (D). DDD: duct, T: tubule, CL: cilia, FC: flagellated cells, DC: digestive cell, DSC: darkly staining cell, NE: junction of a duct with a tubule. Azan. Bars =10 μ m.