

クロアワビの中腸腺の構造

山元憲一・半田岳志・近藤昌和

Structure of the digestive diverticula of abalone, *Haliotis (Nordotis) discus discus*

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

Abstract : The structure of the digestive diverticula of abalone, *Haliotis (Nordotis) discus discus*, was examined with corrosion casts and histological features. The cast was made using the prepolymerization methyl methacrylate (MercoxCL-2R) containing 10 % Mercox MA. The three ducts of digestive diverticula opened at three positions of the stomach. The ducts were connected in the digestive diverticula of monopodial branching type through the short branch. The spread of the digestive diverticula to the circumference of the stomach was divided into three positions in every duct.

Key words : abalone; corrosin cast; digestive diverticula

1 緒 言

軟体動物の中腸腺は、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¹⁻³⁾。このような中腸腺は、二枚貝類や腹足類では、胃の周囲に位置し、胃に開口した導管で胃と連絡している⁴⁻⁹⁾。中腸腺の組織は、原鰓類、腹足類および二枚貝類などについて調べられている^{5, 9, 10)}。二枚貝類では、中腸腺の導管と中腸腺細管の構造は組織像の観察から模式的に図示されている^{5, 9, 10)}。また、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^{11, 12)}は、マガキおよびアコヤガイ, *Pinctada fucata martensii*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、アワビについては、メガイアワビ, *Haliotis gigantea*で中腸腺の組織像が調べられている³⁾だけで、中腸腺の立体的な構造については調べられていない。

そこで、著者らは、クロアワビ, *Haliotis (Nordotis) discus discus*を用いて、鋳型および切片標本を作成し、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、殻長 52.2 ± 2.3 mm (平均値±標準偏差、以下

同様に表す)のもの75個体および殻長 14.5 ± 1.3 mmのもの8個体のクロアワビを用いた。アワビは、下関市水産指導所より幼貝を入手し、野外の水槽(25ton)でアナアオサを主体とした海藻を与えて飼育し、随時取り上げて室内の水槽(10l)に移し、海水を1l/min注入した状態で3~5日間蓄養して絶食させ、約0.4M/lの塩化マグネシウム水溶液に約20分間浸漬して体を伸展させた¹¹⁻¹³⁾後、実験に供した。

鋳型 鋳型の作成は、マガキ¹¹⁾やアコヤガイ¹²⁾の場合と同様にして、主剤(MERCOX CL-2R, 応研商事株式会社)3ml当り硬化剤(MERCOX MA, 応研商事株式会社)約0.1g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、先端近くを膨らませたポリエチレン細管(外径約1mm, 長さ20cm, Hibiki No. 3, Fig. 1)に濾過海水を満たし、これを口から食道へ約15mm挿入し、プラスチックシリンジ(5ml, Top)を使って約1.5ml/minの速さで総量4.0ml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)¹⁴⁾で固定後、安全剃刀で胃の部分を中心にして軟体部を水平に切開して



Fig. 1. The tip of cannulation tubing to inject the resin into the digestive organ. One scale=2 mm.

行った。

組織像 観察は、山元ら¹⁹⁾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。アワビの小形の場合には殻付きのまま一個体丸ごと、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、内臓塊らせん部(VC)から右側貝殻筋(RM)の間の胃の周囲に展開しており、右側貝殻筋寄りの部分は生殖腺(GD)が覆っていたが、内臓塊らせん部寄りの部分は殻を除去すると体の外から確認することができた(Fig. 2)。このような様子は、殻付きのまま一個体丸ごと3方向から切片を作成した組織像からも確認された(Fig. 3)。鋳型でみると、背面では胃の噴門部(CA)と幽門部(RA)の境付近、腹面では噴門部と幽門部の大半のところには中腸腺は認められず、これらの部位では胃が露出していた(Fig. 4-A)。鋳型作成中に消化管から外に樹脂が漏れた場合では、消化管と血管系が同時に鋳造され、これを見ると、無数の血管が中腸腺を取り囲んでいる様子が観察された(Fig. 4-B)。

中腸腺の導管の開口部は、組織像からみると腹面(Fig. 5-B)と背面(Fig. 5-C)とに存在している様子が確認された。鋳型を中腸腺の先端部分から取り除いてゆくと、開口部は噴門部の背面に2箇所(DD¹およびDD²)、幽門部の腹面に1箇所(DD³)の合計3箇所存在していた(Fig. 6)。また、中腸腺の導管はそれぞれの開口部から1本ずつ出ている(Fig. 7)。樹脂が中腸腺の先端まで入った個体で、これらの導管の根本から中腸腺を外すと、導管のDD¹およびDD³は胃から分かれた後、胃の背面および腹面に沿って2つに分かれて太い幹が伸び、DD²は1本の太い幹が胃の腹面に沿って3つの部分に分かれて広がっていた(Fig. 7)。このことから、噴門部から伸びる2本の導管(DD¹およびDD²)のうちDD¹から枝分かれした部分は

Figs. 8に①で示した範囲に、DD²は②の範囲に、幽門部から伸びる1本(DD³)は③の範囲に広がっていることが確認された。

導管は、鋳型を見る限り、太い幹から比較的細い枝が分かれて広がっている様相を呈していた(Fig. 7)。しかし、組織像から見ると、枝分かれした導管の部分(BDD)は非常に短く、直ちに中腸腺細管(TB)へとつながっていた(Figs. 5, 9)。導管の構造は、基本的には胃壁と同様で、周囲がAzanで赤く染まるFragellated cell(FC)で囲まれ、内壁が繊毛(CL)で覆われていた(Figs. 10)。断面像で見ると、周囲は比較的なめらかな楕円形をしており、導管内を縦に走る皺状の構造は認められなかった(Fig. 9-B)。導管と中腸腺細管の境は組織構造が異なり、導管の末端部の周囲はFragellated cellで囲まれ、中腸腺細管の周囲はAzanで青く染まる消化細胞(DC)で構成されていた(Fig. 10)。

中腸腺細管の形は長い袋状で、内容物が無い場合には内壁がお互にくっついて、しかもそれぞれの中腸腺細管が入り乱れた形で中腸腺内に収まっていた(Figs. 3, 5, 9)。中腸腺細管の構造は、消化細胞(DC)とアザン染色で赤く染まった暗細胞(DSC)とからなり、前者は中腸腺細管の内壁が盛り上がった部位に、後者は内壁が皺状に食い込んだ奥、つまり同細管のCrypt様構造の部位に局在していた(Fig. 10)。

4 考 察

中腸腺は腹足類や二枚貝類のいずれも胃を囲むようにして存在していることが知られている^{1, 2)}。クロアワビでも同様であることが鋳型、組織像および胃を中心とした断面像から確認された。一方、サザエ、*Turbo cornutus*では、中腸腺が胃だけでなく素囊の周囲も取り囲んでいる²⁾。しかし、同じ腹足綱の古腹足目に属するメガイアワビでは、素囊の腹面は中腸腺が取り囲んでいない図が示されている²⁾。クロアワビでも、メガイアワビと同様に、素囊

の腹面には中腸腺が広がっていないことが鋳型から確認された。合わせて、鋳型から、胃の噴門部と幽門部の腹面部位の大半の所も中腸腺で囲まれていないことが確認された。

腹足類の中腸腺は1本または複数の管で胃とつながっているとされている¹⁶⁾。クロアワビでは3本であることが確認された。一方、Purchon⁶⁻⁸⁾は、二枚貝類について中腸腺の導管が胃壁に開口している部位を、それぞれの導管が直接胃壁に開口しているところ(Orifices)と数本の導管が胃壁の湾入したところに開口しているところ(Embayments)の2つの型に分けている。クロアワビでは3本の導管のいずれも胃のそれぞれの部位から独立して胃壁に直接開口していたことから、導管の開口部は全てOrificesの形式であることが明らかとなった。

導管が胃から中腸腺細管へ進むに従って枝分かれを繰り返して次第に細くなる構造は、原鰓類のNuculidae, 等糸鰓類および真弁鰓類について図示されている⁹⁾。マガキやアコヤガイでは、そのような導管の枝分かれの様子は組織像および鋳型で示されている^{11, 12)}。クロアワビの導管は、鋳型から見ると同様な様相を呈しているが、組織像から見ると複雑な枝分かれの部分は中腸腺細管の部分に相当しており、胃につながった太い導管から枝分かれた部分は非常に短くて、直ちに中腸腺細管に連絡していた。これらのことから、クロアワビの導管の型は二枚貝類と異なって、複雑に枝分かれた構造を示さないことが明らかとなった。

等糸鰓類および真弁鰓類では、導管はMain duct(主導管)とSecondary duct(二次導管)とに分かれ、主導管は絨毛で覆われている部分(A)と刷子縁で覆われている部分(B)で構成され、二次導管はBの部分と同様の組織からなっている¹⁰⁾。山元ら¹¹⁾は、擬弁鰓類であるマガキも同様な構造であることを報告している。一方、原鰓類のクルマシガイ科の*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絨毛で覆われている⁹⁾。アコヤガイでは、前記のような主導管と二次導管の構造の違いがなく、全体に一樣で絨毛で覆われている¹²⁾。しかし、いずれの導管でもその内側には先端まで縦に走る皺が認められている⁹⁻¹²⁾。アワビの導管は、胃から伸びる太い所から短い枝が出た構造で、導管の周囲は全てFragerated cellで囲まれた様な組織像を示し、しかも縦に走る皺は認められなかった。これらのことから、クロアワビの導管はその構造が二枚貝類と異なり、

しかも二枚貝の多くで認められる二次導管に相当する部位を欠いていることが明らかとなった。

中腸腺細管は、二枚貝類では導管の末端から小さな室が房状になって連なっているが、メガイアワビでは、大きな袋状を呈することが知られている³⁾。クロアワビでもメガイアワビと同様の型を示していた。中腸腺細管は暗細胞と消化細胞から構成され¹⁾、暗細胞は真弁鰓類ではcryptに局在し、*Nucula sulcata*(原鰓類)、ムラサキイガイ、*Mytilus edulis*(等糸鰓類)やアコヤガイ(擬弁鰓類)ではcrypt構造を示さず、従って中腸腺細管壁に散在した形を示している¹²⁾。クロアワビでは、暗細胞は内壁が皺状に食い込んだ奥、つまりCrypt様構造のところに局在していた。これらのことから、クロアワビでは二枚貝類と中腸腺細管の形は異なっているが、中腸腺細管の消化細胞と暗細胞の位置関係は真弁鰓類に近い形を示すと考えられる。

等糸鰓類や真弁鰓類では、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や中腸腺細管で吸収し、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しているとされている¹⁰⁾。Mathers²⁾はヨーロッパガキ、*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および中腸腺細管での取り込みを確認している。クロアワビでは、導管は胃から分かれて中腸腺細管と連絡する部位まで同一の構造を示していたことから、前記の二枚貝と異なって消化したものの吸収や微細な粒子の捕食は導管では行わずに、中腸腺細管で行っていると考えられる。

導管は胃の噴門部からの2本と幽門部からの1本が伸びて中腸腺細管につながり、胃の周囲に広がる中腸腺細管を3つの部分に分けた形となっていた。胃では中腸腺と同様に消化酵素を分泌していることが知られている³⁾。したがって、胃の異なる部位に開口している3本の導管に繋がる中腸腺細管の3つの部位では、消化吸收の様子が異なる可能性が考えられる。

5 要 約

クロアワビの中腸腺の構造を鋳型および組織像から調べた。導管は胃の噴門部の背面から2本と幽門部の腹面から1本伸び、枝分かれた短い部分を介して大きな袋状を呈した中腸腺細管につながっていた。中腸腺細管は3本の導管毎に3つの部位に分かれて、胃の周囲に展開していた。

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) Voltzow, J. : Gastropoda: Prosobranchia, Microscopic anatomy of invertebrates, Vol. 5, Mollusca I (ed. by F. W. Harrison and A. J. Kohn). Wiley-liss, USA, pp. 111-252 (1994).
- 4) Yonge, C. M. : The digestive diverticula in the lamellibranchs. *Trans. Roy. Soc. Edinb.*, **54**, 703-718 (1926).
- 5) 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).
- 6) Purchon, R. D. : The stomach in the filibranchia and pseudolamellibranchia. *Proc. Zool. Soc., London*, **129**, 27-60 (1957).
- 7) Purchon, R. D. : The stomach in the Eulamellibranchia; Stomach type IV. *Proc. Zool. Soc., London*, **131**, 487-525 (1958).
- 8) Purchon, R. D. : The stomach in the Eulamellibranchia; Stomach type IV and V. *Proc. Zool. Soc., London*, **135**, 431-489 (1960).
- 9) Owen, G. : Observations on the stomach and digestive diverticula of the lamellibranchia. II. The Nuculidae. *Quart. J. micr. Sci.*, **97**, 541-567 (1955).
- 10) 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).
- 11) 山元憲一・半田岳志・近藤昌和：マガキの中腸腺の鑄型作成の試み. *水大校研報*, **51**(3), 95-100 (2003).
- 12) 山元憲一・半田岳志・近藤昌和：アコヤガイの中腸腺の構造. *水大校研報*, **52**(1), 31-43 (2004).
- 13) Namba, K, M. Kobayashi, S. Aida, K. Uematsu, M. Yoshida, Y. Kondo and Y. Miyata : Persistent relaxation of the adductor muscle of oyster *Crassostrea gigas* induced by magnesium ion. *Fisheries. Sci.*, **61**, 241-244 (1995).
- 14) Bell, T. A. and D. V. Lightner : A handbook of normal Penaeid shrimp history. World aquaculture society, USA, pp. 2 (1988).
- 15) 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).
- 16) 岩田文男：前鰓類. *動物系統分類学* 5 (下) 軟体動物 (II) (内田亨・山田真弓監修). 中山書店, 東京, pp. 7-168 (1999).

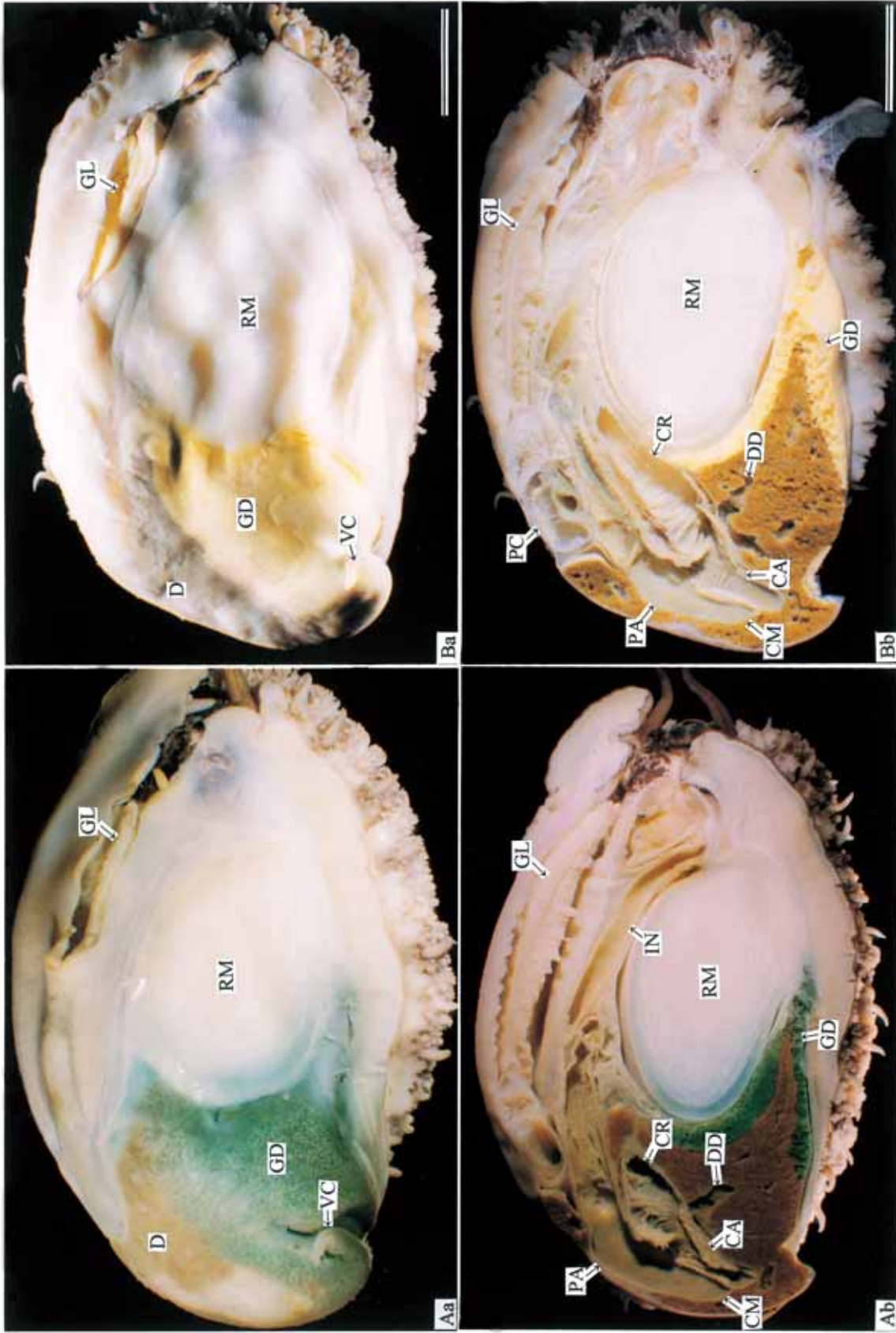


Fig. 2. *Haliotis (Nordotis) discus discus*. Dorsal views (a) and transverse section from horizontal aspects (b). A and B show male and female, respectively. D : digestive diverticula. GD : gonad. VC : visceral mass coil, RM : right shell muscle, DD : duct of digestive diverticula. CR : crop, CA : cardiac area of stomach, PA : pyloric area of stomach, CM : coecum, IN : intestine, GL : gill, PC : pericardium. Bar=10mm.

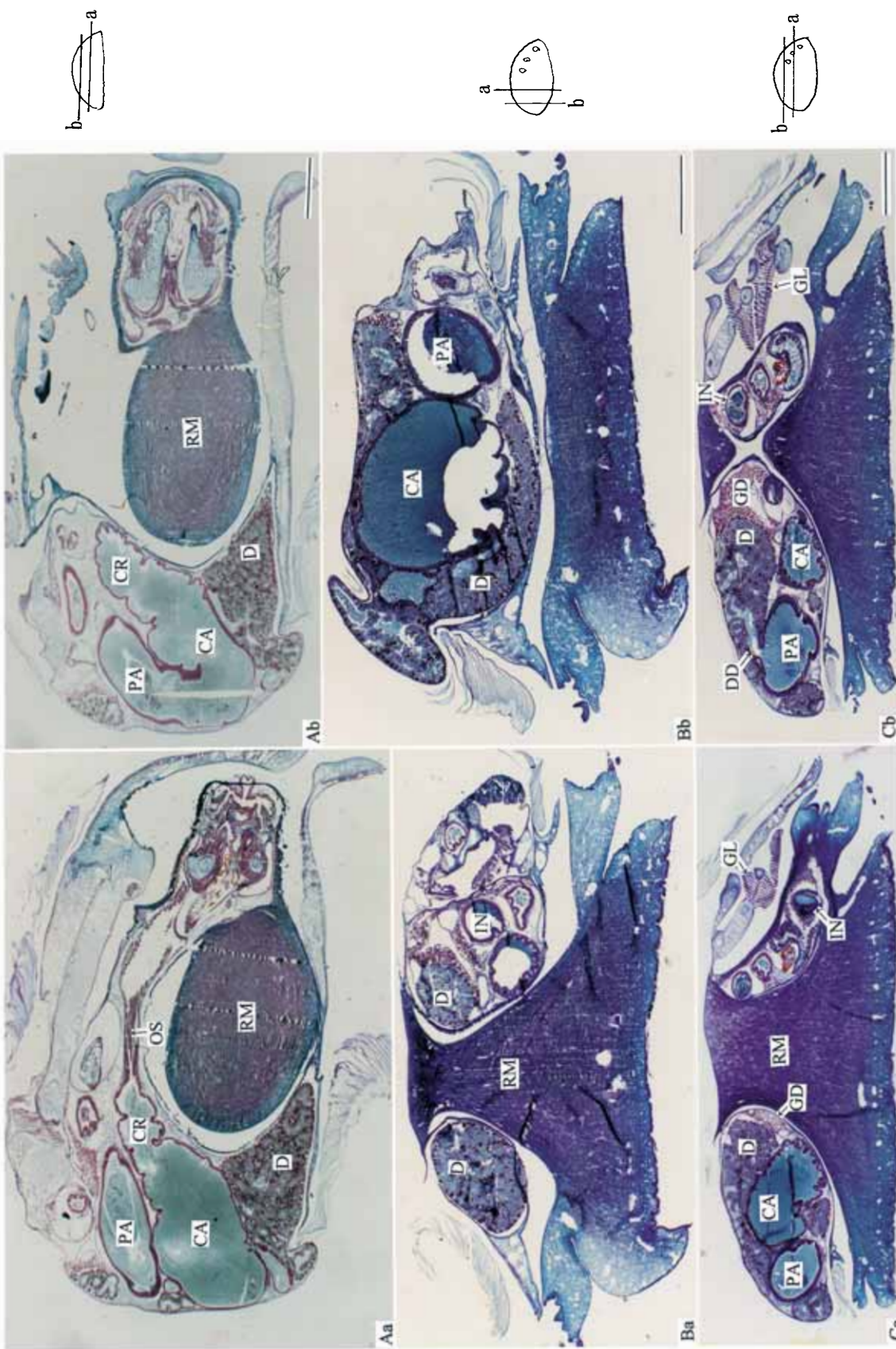


Fig. 3. *H. (Nordotis) discus discus*. Transverse section from tree-dimensional aspects (A, B and C). CR : crop, CA : cardiac area of stomach, PA : pyloric area of stomach, D : digestive diverticula, RM : right shell muscle, GD : gonad, OS : oesophagus, IN : intestine, GL : gill. Bars = 100 μ m.

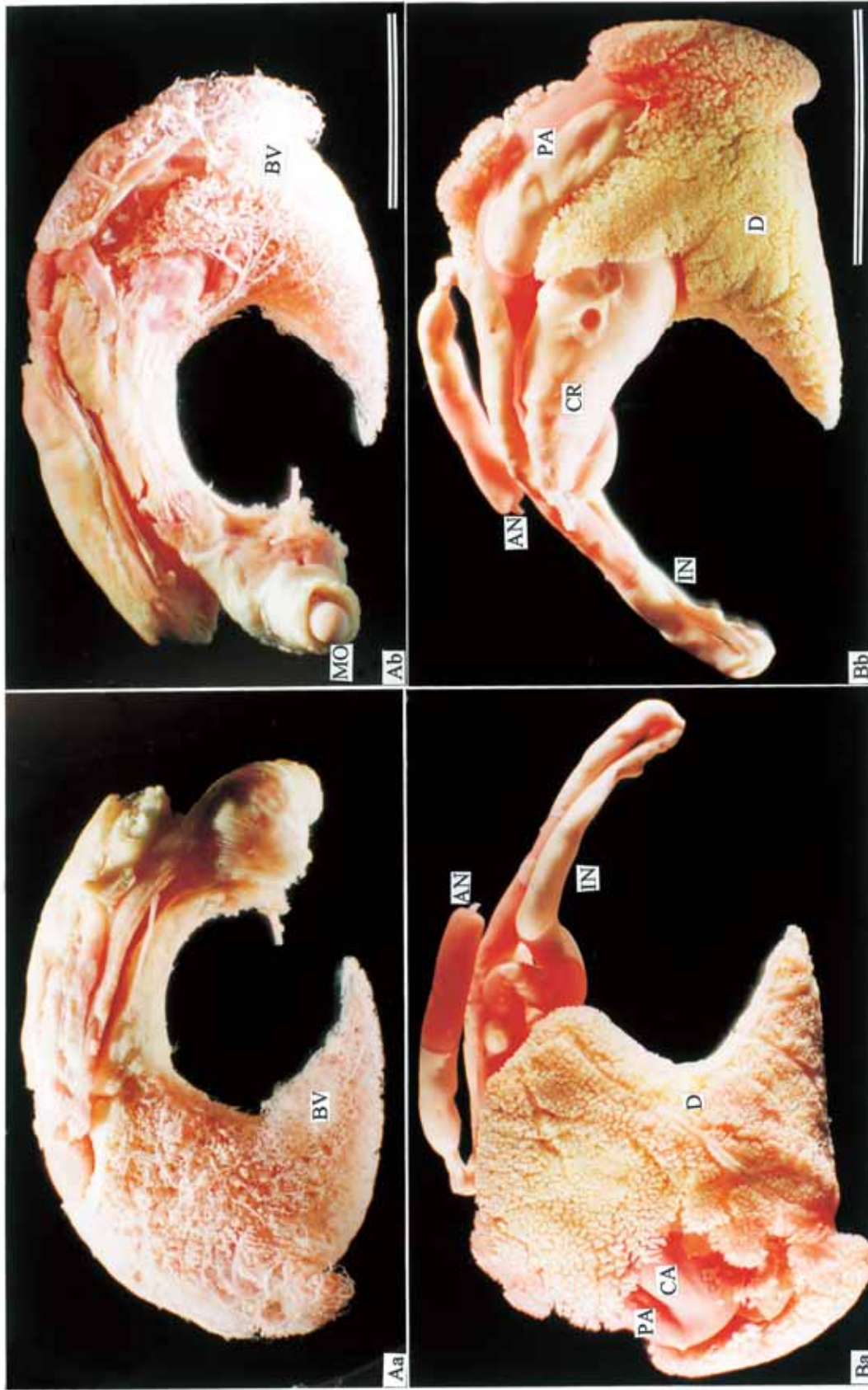


Fig. 4. *Haliotis (Nardotis) discus discus*. Corrosion cast of the blood vessel covered with the digestive diverticula (A) and the digestive diverticula (B) from dorsal (a) and ventral aspects (b). CR : crop, CA : cardiac area of stomach, PA : pyloric area of stomach, D : digestive divercula, BV : blood vessel, IN : intestine, AN : anus, MO : mouth. Bars=10mm.

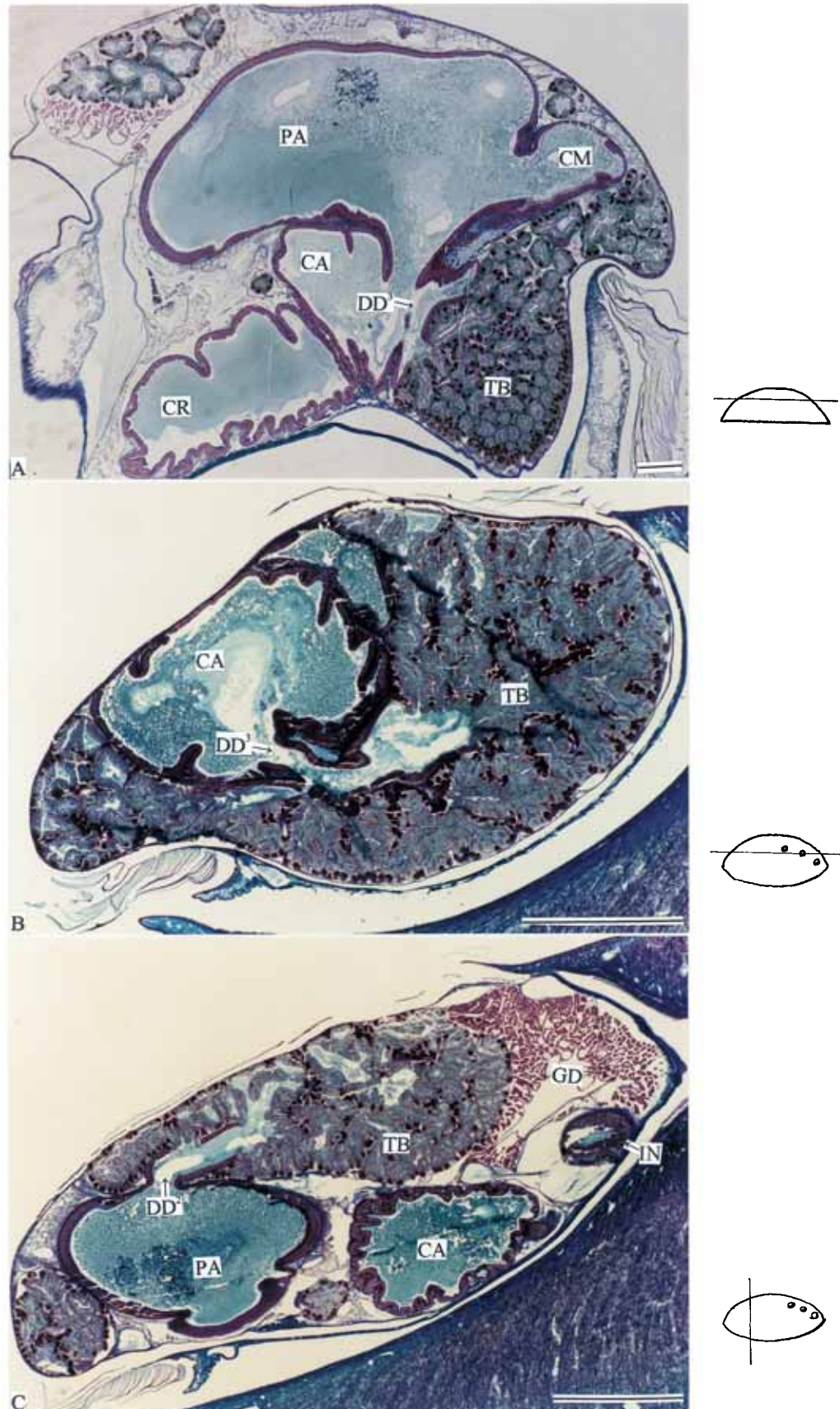


Fig. 5. *Haliotis (Nordotis) discus discus*. Transverse sections at the stomach from tree-dimensional aspects (A, B and C). CR : crop, CA : cardiac area of stomach, PA : pyloric area of stomach, CM : coecum, DD² and DD³ : duct of digestive diverticula, TB : tubes, GD : gonad, IN : intestine. Azan. Bars=10 μm.

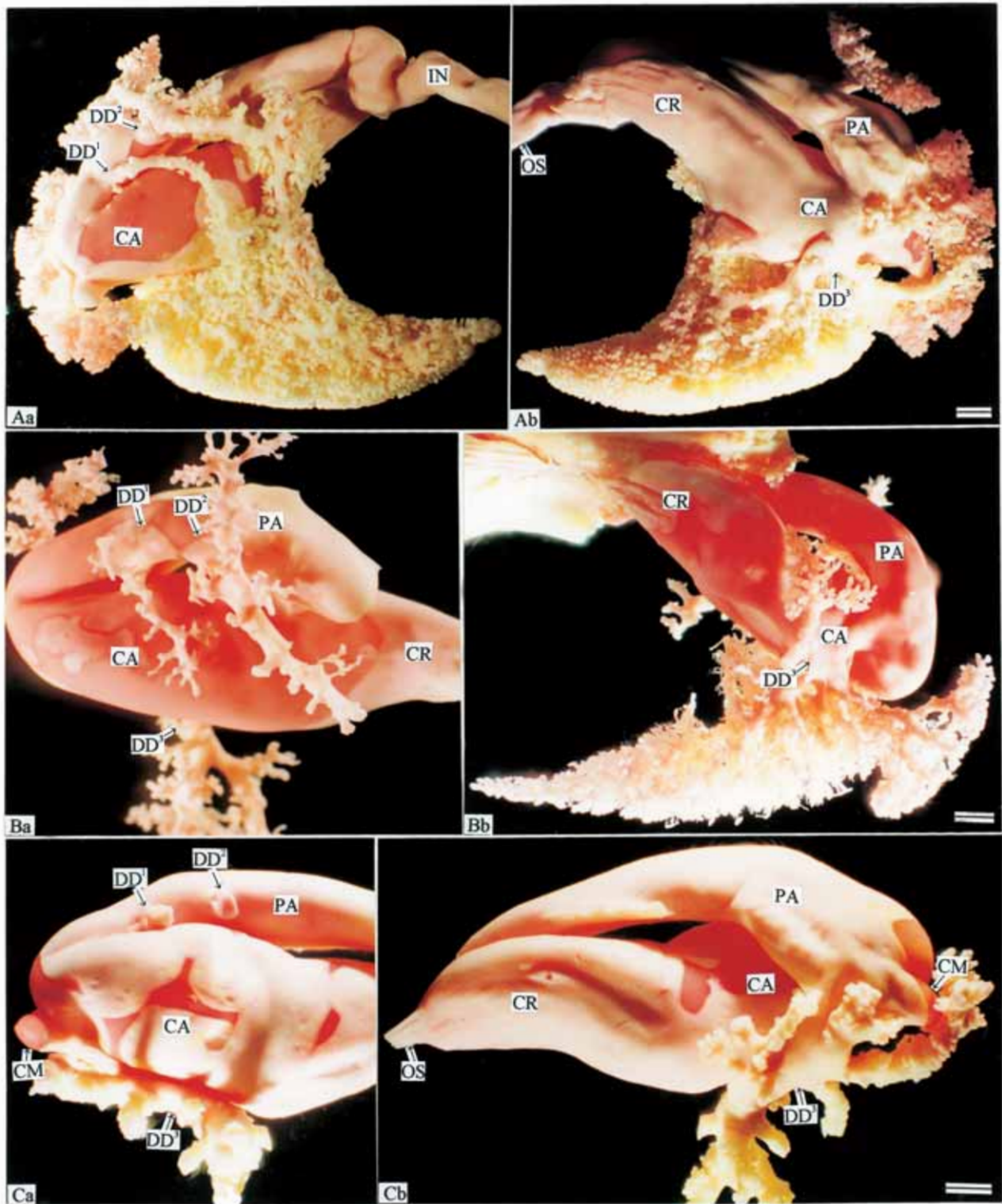


Fig. 6. *Haliotis (Nordotis) discus discus*. Corrosion cast of the duct of digestive diverticula from dorsal (a) and ventral aspects (b). CR: crop, CA: cardiac area of stomach, PA: pyloric area of stomach, CM: coecum, DD¹, DD² and DD³: duct of digestive diverticula, OS: oesophagus, IN: intestine. Bars = 100 μm.

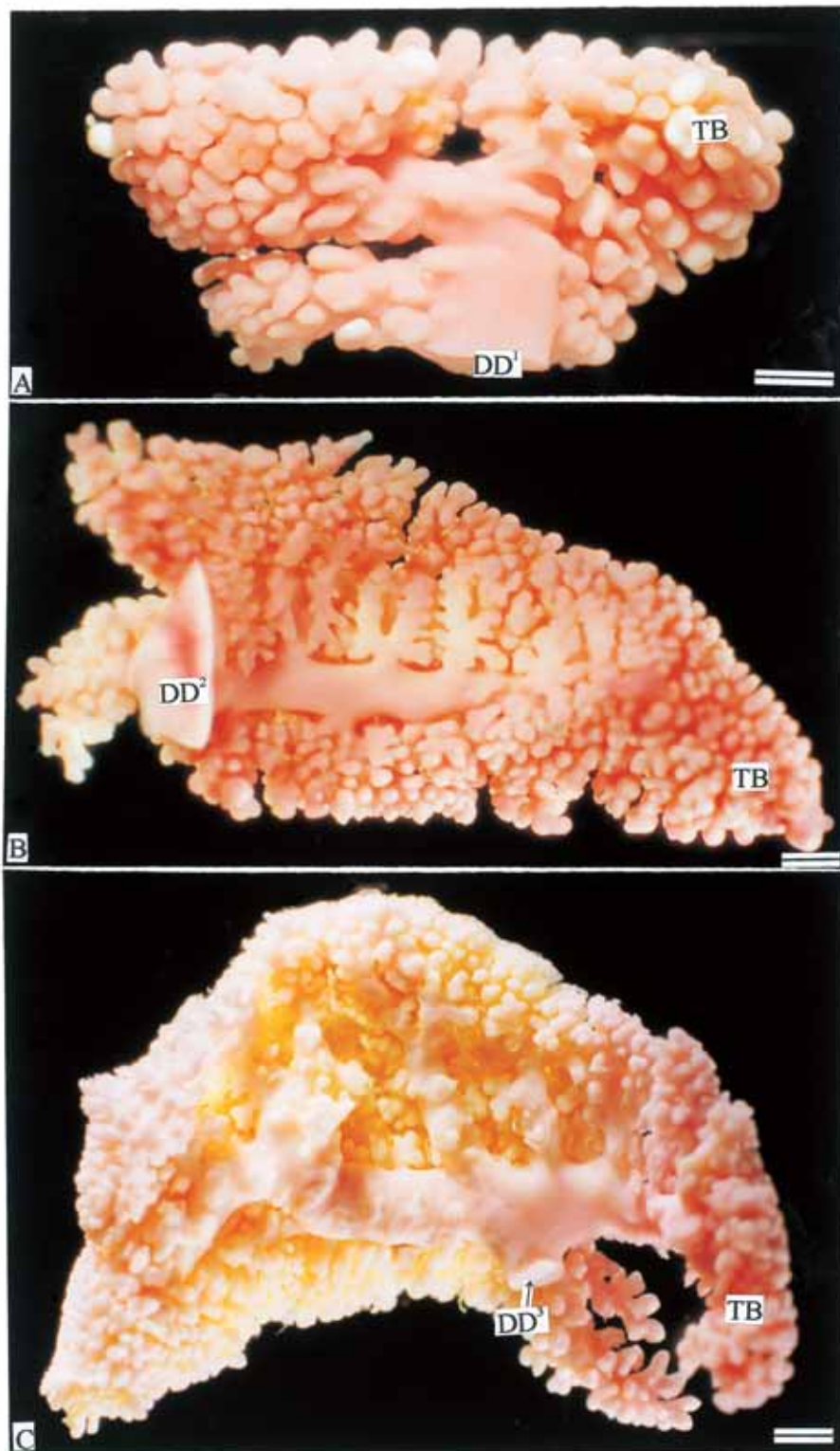


Fig. 7. *Haliotis (Nordotis) discus discus*. Corrosion cast of the duct of digestive diverticula from stomach aspects. DD¹, DD² and DD³: duct of digestive diverticula, TB: tubules. Bars=100 μ m.

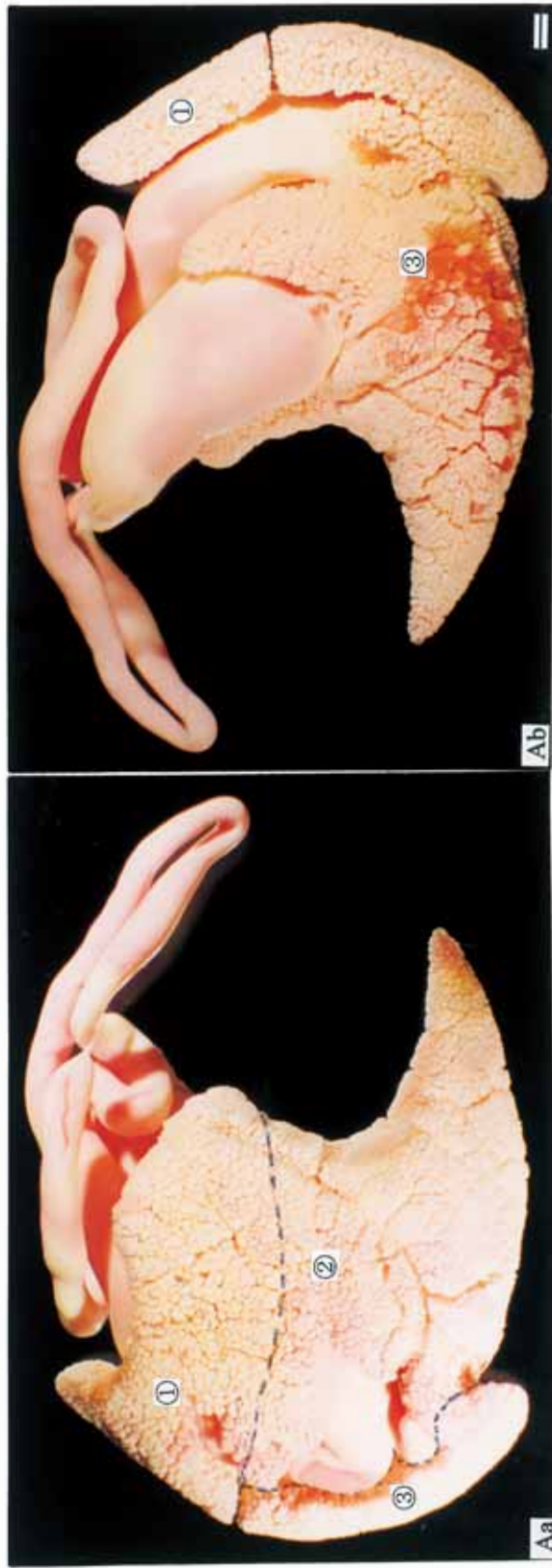


Fig. 8. *Haliotis (Nordotis) discus discus*. Area of digestive diverticula covered with the tree ducts of digestive diverticula. ①=DD¹, ②=DD², ③=DD³. Bar=100 μm.

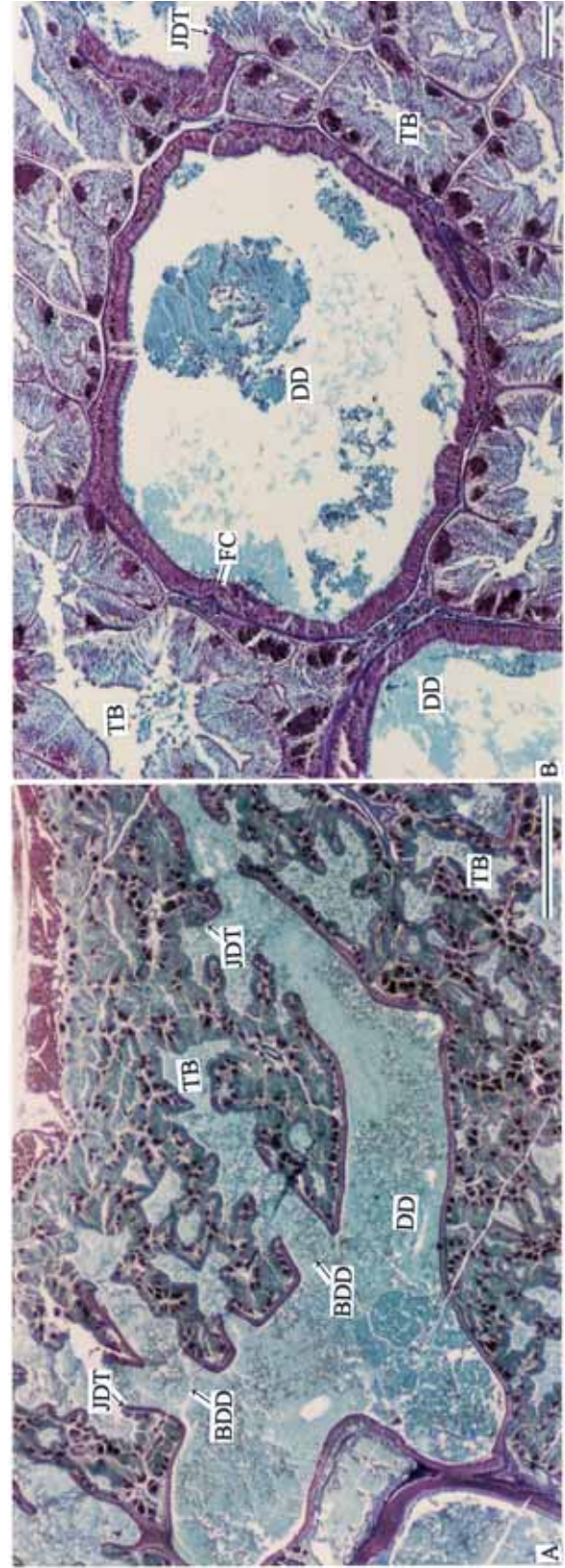


Fig. 9. *Haliotis (Nordotis) discus discus*. Longitudinal section (A) and cross section of duct of digestive diverticula (B). DD : duct of digestive diverticula, BDD : branch of the duct, TB : tubules, JDT : junction of a duct with a tubule. Azan. Bar in A=100 μm and Bar in B=10 μm.

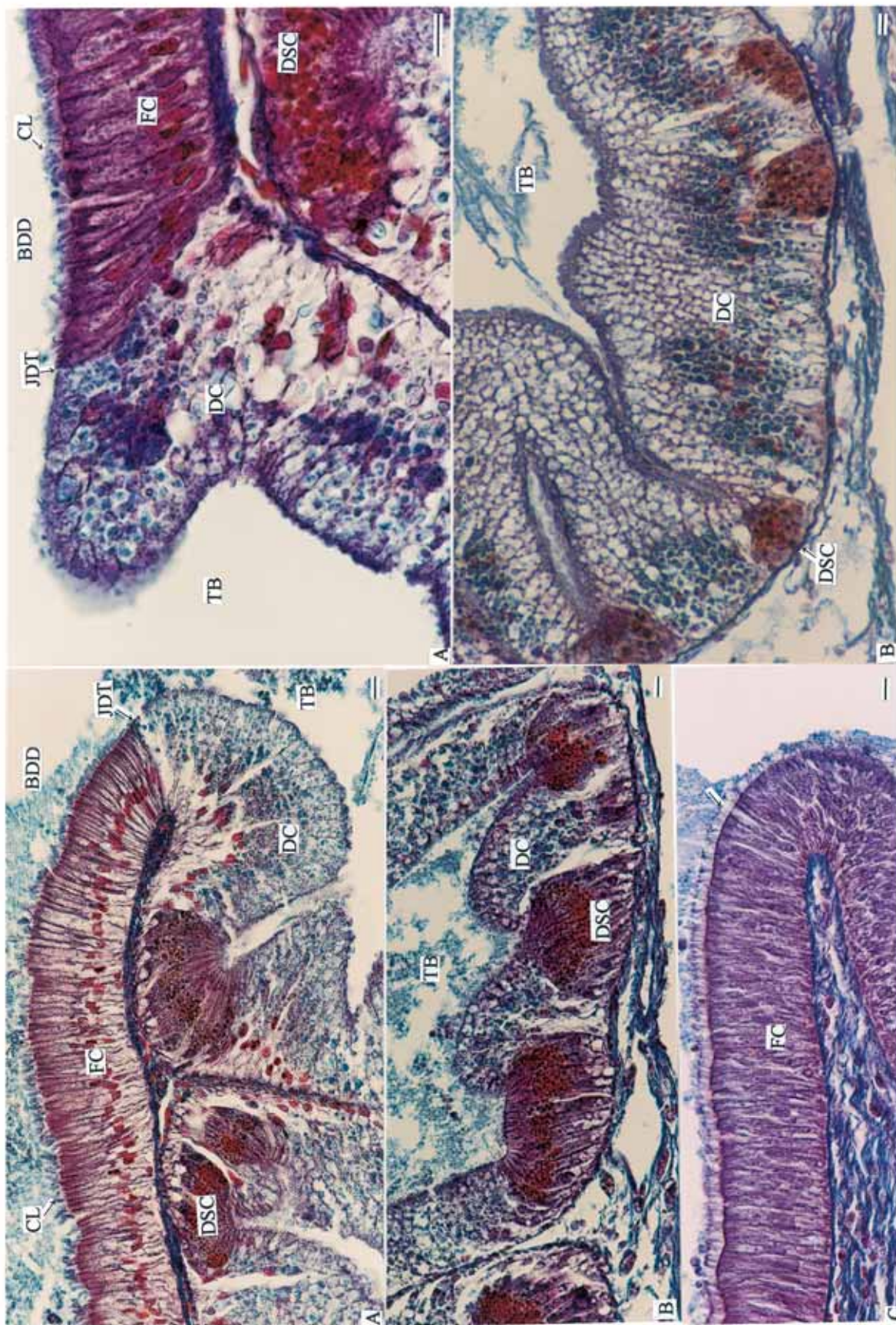


Fig. 10. *Haliotis (Nordotis) discus discus*. Section of duct of digestive diverticula (A), tubule (B), and stomach (C). BDD : branch of the duct, TB: tubules, FC : flagellated cells, DC : digestive cell, DSC : darkly staining cell, JDT : junction of a duct with a tubule, CL : cilia. Azan. Bars=10 μ m.