

## ヒレシャコガイの中腸腺の構造

山元憲一<sup>†</sup>・半田岳志

### Structure of the digestive diverticula of the Scalded clam, *Tridacna squamosa* (Mollusca : Bivalvia : Eulamellibranchia)

Ken-ichi Yamamoto<sup>†</sup> and Takeshi Handa

**Abstract** : The corrosion resin-casts and the tissue preparations (Azan staining) of the digestive diverticula of the Scalded clam, *Tridacna squamosa* were observed. The basic structure of the digestive diverticula was essentially identical to those of other species in Eulamellibranchia. The digestive diverticula surrounded the stomach on all sides except the ventral and the right sides. The orifices of the multiple ducts located at three large embayments of the stomach. Internal wall of the duct was covered from the orifices to the apex with the cilium. Each tubule extended at the end of the duct. The tubule had the darkly staining cell at the crypt.

**Key words** : Scalded clam; Eulamellibranchia ; Corrosion resin-cast ; Digestive diverticula ; Embayment ; Duct ; Tubule

#### 緒 言

二枚貝の中腸腺は、胃の周囲に位置し<sup>1)</sup>、胃に開口した導管で連絡している<sup>2-5)</sup>。中腸腺の構造は組織標本をもとに導管の先端から延びる中腸腺細管の様子が図示されており<sup>5-7)</sup>、ゼラチンを利用した鋳型をもとに胃から延びる導管の様子が図示されている<sup>8)</sup>。しかし、胃および中腸腺の構造を立体的に明らかにした例は見られない。著者らは、腹足綱の5種類<sup>9-13)</sup>に続いて、二枚貝綱の胃および中腸腺の構造をイガイ目(等糸鰓目)のムラサキイガイ *Mytilus galloprovincialis*<sup>14)</sup>、イガイ目で擬弁鰓型を示すリシケタイラギ *Atrina (Servatrina) lischkeana*<sup>15)</sup>、ウグイスガイ目で擬弁鰓型を示すアコヤガイ *Pinctada fucata martensii*<sup>16)</sup>、カキ目で擬弁鰓型を示すマガキ<sup>17)</sup>、真弁鰓類マルスグレガイ目ナタマメガイ科のアゲマキガイ *Sinonovacula constricta*<sup>18)</sup>とマルスグレガイ科のハマグリ *Meretrix lusoria*<sup>19)</sup>について明らかにしてきた。

一方、真弁鰓類マルスグレガイ目シャコガイ科 *Tridacnidae* の体は、他の二枚貝に比べて180度回転した構造を示して、足が殻頂付近の前背縁から出ている型を示している<sup>20,21)</sup>。餌は、他の二枚貝類と同様に懸濁物を鰓で濾過して捕捉し、唇弁、口、食道を介して胃へ運んで捕食すると同時に、外套膜から胃へ伸びた左右の管 (Primary zooxanthellal tube)<sup>22,23)</sup>を介して、外套膜 (Siphonal mantle) に共生した共生藻類 (zooxanthellae) を直接胃へ運んで捕食していることが知られている<sup>20,24-27)</sup>。これらのことから、シャコガイ科の胃および中腸腺の構造他の二枚貝類と異なることが予想される。

そこで、本研究ではヒレシャコガイ *Tridacna squamosa* を(以降、シャコガイと表す)用いて、前記と同様に半重合メチルメタクリレートを使って鋳型を作成し、切片標本および固定標本を切開した断面像の観察から胃および中腸腺の立体構造および組織像を調べたので報告する。

2009年6月23日受付。 Received June 23, 2009.

1 水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

<sup>†</sup> 別刷り請求先 (corresponding author) : yamagenk@fish-u.ac.jp

住所 : 〒759-6595 下関市永田本町2-7-1 (2-7-1 Nagata-honmachi, Shimonoseki 759-6595)

## 材料および方法

実験には、沖縄県水産試験場八重山支場から8月に入手した殻長 $61.5 \pm 6.4$ mm (平均値 $\pm$ 標準偏差)のもの20個体のシャコガイを用いた。シャコガイは、入手後、屋外の水槽(50ton)に浮かべた $70 \times 50 \times 20$ cmの籠に蓄養し、順次実験に供した。

**鋳型** 鋳型の作成は、Handa and Yamamoto<sup>28)</sup>に準じて、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)を用いて行った。まず、ヒレシャコガイを約0.4M/lの塩化マグネシウム水溶液<sup>29)</sup>に約20分間浸漬して殻を開け、口から食道へポリエチレン細管(外径約1mm, 長さ20cm, Hibiki No.3)を約5mm挿入し、注射筒(5ml, Top)を使って2分間に約1mlの速さで総量約10mlの樹脂を注入した。注入後、細管を封入し、海水中で樹脂を硬化させ、20%水酸化ナトリウム水溶液に浸漬して肉質部を除去し、水洗した。

**胃の断面像** 観察は、シャコガイをDavidson液<sup>30)</sup>で固定後、安全剃刀で胃の部分を中心に軟体部を切開して行った。

**組織像** 観察は、胃の断面像を調べた後、常法に従ってパラフィン切片(10 $\mu$ m)を作成し、アザン染色して行った。

## 結 果

中腸腺(D)は、復縁側(腹側)から右側を除いた胃(ST)の殻頂側(背側)から左側にかけて展開していた(Figs.1-4, 11)。腸は比較的複雑な螺旋構造を示していた(Figs.5-7)。

導管(DD)は、胃壁が長大に湾入したEmbayment構造<sup>4-6)</sup>を示す3箇所(E1, E2, E3)からそれぞれ複数本が出ていた(Figs.4-13)。Embayment構造から出た導管は枝分かれを繰り返して次第に細くなっていた(Figs.4-7)。導管の内面は中腸腺細管との境(JDT)までアザン染色で赤く染まるFlagellated cell(FC)で構成され、繊毛(CL)で覆われていた(Fig.14)。中腸腺細管(T)は導管の末端から直接1本ずつが房状をなして出ている様子が確認された(Fig.14)。その組織像は、導管と異なってアザン染色で青く染まる消化細胞(DC)で周囲を囲まれ、陥入した部位(Crypt構造)には赤く染まった暗細胞

(DSC)が確認された(Fig.14)。

## 考 察

Yonge<sup>8)</sup>は、原鰓類、糸鰓類、真弁鰓類の中腸腺は胃を囲むように存在していると報告している。等糸鰓目(イガイ目)のタイラギ<sup>15)</sup>、擬弁鰓型のアコヤガイ<sup>16)</sup>、マガキ<sup>17)</sup>や真弁鰓類のハマグリ<sup>19)</sup>やアサリ<sup>31)</sup>では、中腸腺は同様に食道および胃の周囲に位置しているが、胃の背側には存在しないことが報告されている。これらの種類と異なると、シャコガイでは、中腸腺は殻頂側(背側)から左側にかけての胃の周囲に展開していた。このような相違は、シャコガイの体が他の二枚貝に比べて180度回転した構造をしている<sup>20,21)</sup>ことに起因していると考えられる。

Purchon<sup>2-4)</sup>は、中腸腺の導管が胃壁に開口している構造を2つの型に分けており、1つは導管が直接胃壁に開口している構造をOrifices構造、胃壁の湾入したところに複数の導管が開口している構造をEmbayments構造としている。シャコガイは、アコヤガイ<sup>16)</sup>やその仲間である*Pinctada vulgaris*<sup>2)</sup>および同じ真弁鰓類であるアゲマキガイ<sup>18)</sup>、マガリ<sup>19)</sup>やアサリ<sup>31)</sup>と同様にEmbayments構造を示していた。しかし、他の二枚貝のEmbayments構造は胃壁が少し湾入した構造を示すが、シャコガイのものは胃壁から長大に湾入した構造となっていた。

一方、Embayments構造の数はアコヤガイ<sup>16)</sup>やその仲間である*P. vulgaris*<sup>2)</sup>では5箇所あると報告されている。しかし、シャコガイでは、アゲマキガイ(2箇所)<sup>18)</sup>よりも数は多いが、アコヤガイや*P. vulgaris*よりも数が少なく、ハマグリ<sup>19)</sup>やアサリ<sup>31)</sup>と同じく3箇所であった。

シャコガイの導管が胃壁のEmbayments構造の部位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<sup>5)</sup>ものと同様である。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縁で覆われている部分に分かれて構成され、二次導管は全体が刷子縁で覆われた構造となっていると報告されている<sup>6)</sup>。等糸鰓類のムラサキイガイやマガキでは、二次導管は周囲が刷子縁で覆われていると報告されている<sup>14,17)</sup>。しかし、真弁鰓類であるシャコガイでは、導管の末端は中腸腺細管との境までアザン染色で赤く染まるFlagellated cellで構成

され、内面には繊毛が確認された。これらのことから、シャコガイの導管はムラサキガイ<sup>14)</sup>やマガキ<sup>17)</sup>と異なって、アゲマキガイ<sup>18)</sup>、ハマグリ<sup>19)</sup>やアサリ<sup>31)</sup>と同様に周囲を刷子縁で覆った形の二次導管を持たない真弁鰓類特有の構造を示していると考えられる。

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出た後に中腸腺細管が枝分かれする型 (Simple branching type I) を、等糸鰓類や真弁鰓類では導管の末端に中腸腺細管が1つずつ独立して出ている型 (Simple branching type II)<sup>6)</sup>を示すとされている。シャコガイでもアゲマキガイ<sup>18)</sup>、ハマグリ<sup>19)</sup>やアサリ<sup>31)</sup>と同様に真弁鰓類の特徴であるtype IIの様相を示していた。

中腸腺細管の暗細胞は、繊毛を備えており、若い細胞で後に栄養細胞になると推測されている<sup>8)</sup>。このような暗細胞は、真弁鰓類ではCrypt構造の部位に存在していることが知られている<sup>25)</sup>。シャコガイでもアゲマキガイ<sup>18)</sup>、ハマグリ<sup>19)</sup>やアサリ<sup>31)</sup>と同様に中腸腺細管は真弁鰓類の特徴を示し、Crypt構造の部位に暗細胞が位置していた。

以上のことから、シャコガイは外套膜の共生藻を餌として利用していることが知られているが、中腸腺の基本構造は他の真弁鰓類のものと同様であることが明らかとなった。一方、シャコガイは、外套膜に共生している共生藻を外套膜から胃へ延びる管<sup>22,23)</sup>を利用して、胃へ運んで餌として利用していると言われている。しかし、本研究では、その管を鋳型標本からも確認することは出来なかった。今後、鋳型の作成方法を検討し、外套膜から胃へ延びる管の立体構造についても明らかにしたいと考えている。

## 要 約

シャコガイの中腸腺の構造を鋳型および組織像から調べた。中腸腺は、他の二枚貝と異なって、腹縁側 (腹側) から右側を除いた胃の周囲に展開していた。導管は、胃壁が長大に湾入した3箇所から出ている。導管の内壁は先端まで一様で、導管の先端からは中腸腺細管が1本ずつ独立して出ている。中腸腺細管はCrypt構造の部位に暗細胞を備えていた。

## 文 献

1) Yonge C M : The digestive diverticula in the

lamellibranchs. *Trans Roy Soc Edinb*, 54, 703-718 (1926)

2) Purchon R D : The stomach in the Filibranchia and Pseudolamellibranchia. *Proc Zool Soc, London*, 129, 27-60 (1957)

3) Purchon R D : The stomach in the Eulamellibranchia; Stomach type IV. *Proc Zool Soc, London*, 131, 487-525 (1958)

4) Purchon R D : The stomach in the Eulamellibranchia; Stomach type IV and V. *Proc Zool Soc, London*, 135, 431-489 (1960)

5) Owen G : Observations on the stomach and digestive diverticula of the lamellibranchia. II. The Nuculidae. *Quart J micr Sci*, 97, 541-567 (1955)

6) 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)

7) 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)

8) 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)

9) 山元憲一, 半田岳志, 近藤昌和 : クロアワビの中腸腺の構造. *水大校研報*, 53(3), 105-116 (2005)

10) 山元憲一, 半田岳志, 近藤昌和 : サザエの中腸腺の構造. *水大校研報*, 55(3), 71-89 (2007)

11) 山元憲一, 半田岳志, 近藤昌和 : マルタニシの中腸腺の構造. *水大校研報*, 55(4), 149-159 (2007)

12) 山元憲一, 半田岳志, 近藤昌和 : ツメタガイの中腸腺の構造. *水大校研報*, 55(3), 91-99 (2007)

13) 山元憲一, 半田岳志, 近藤昌和 : アカニシの中腸腺と唾液腺の構造. *水大校研報*, 55(3), 101-114 (2007)

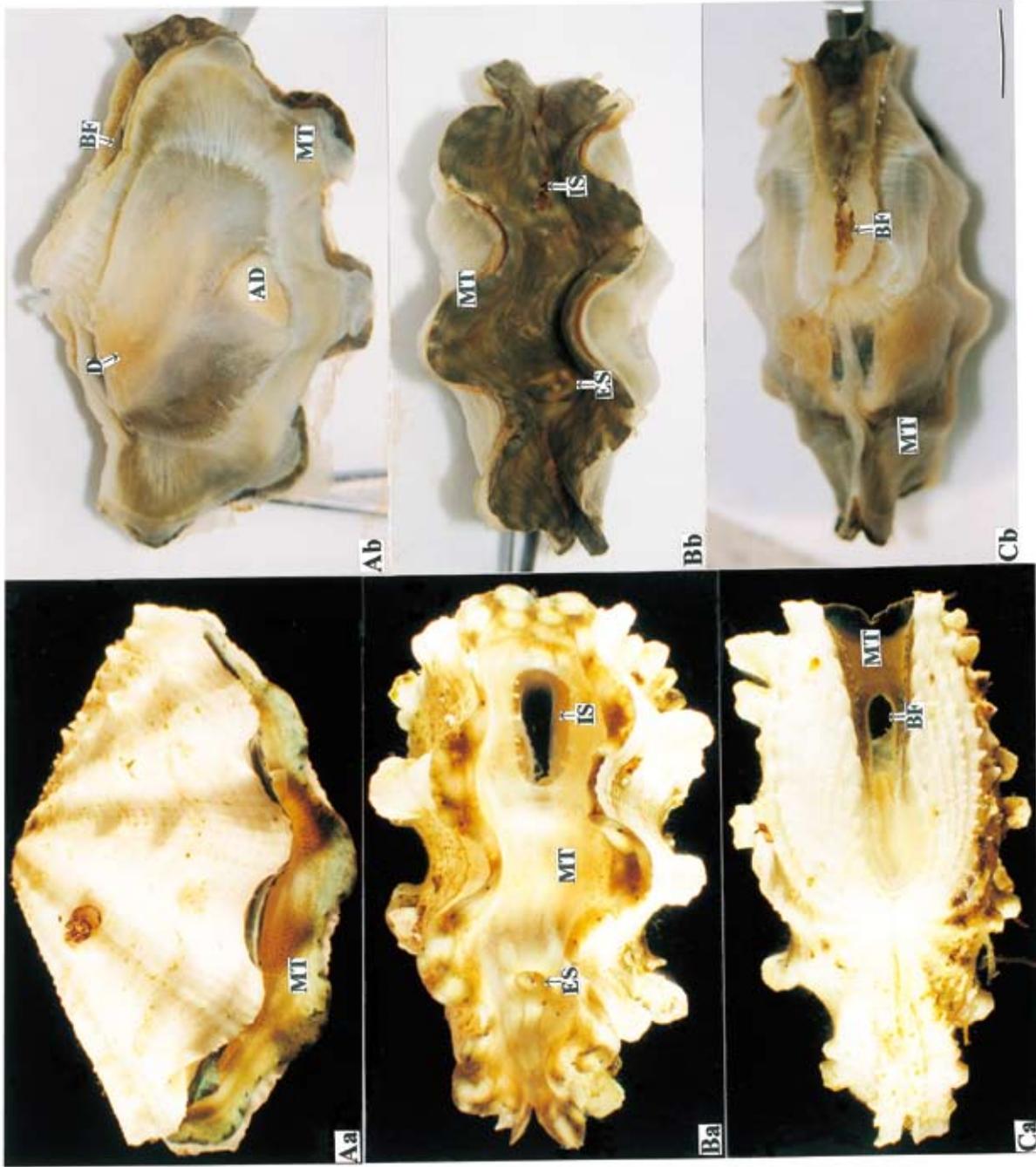
14) 山元憲一・半田岳志 : タイラギの中腸腺の構造. *水大校研報*, 57(1), 71-80 (2008)

15) 山元憲一・半田岳志 : ムラサキガイの中腸腺の構造. *水大校研報*, 57(2), 71-80 (2008)

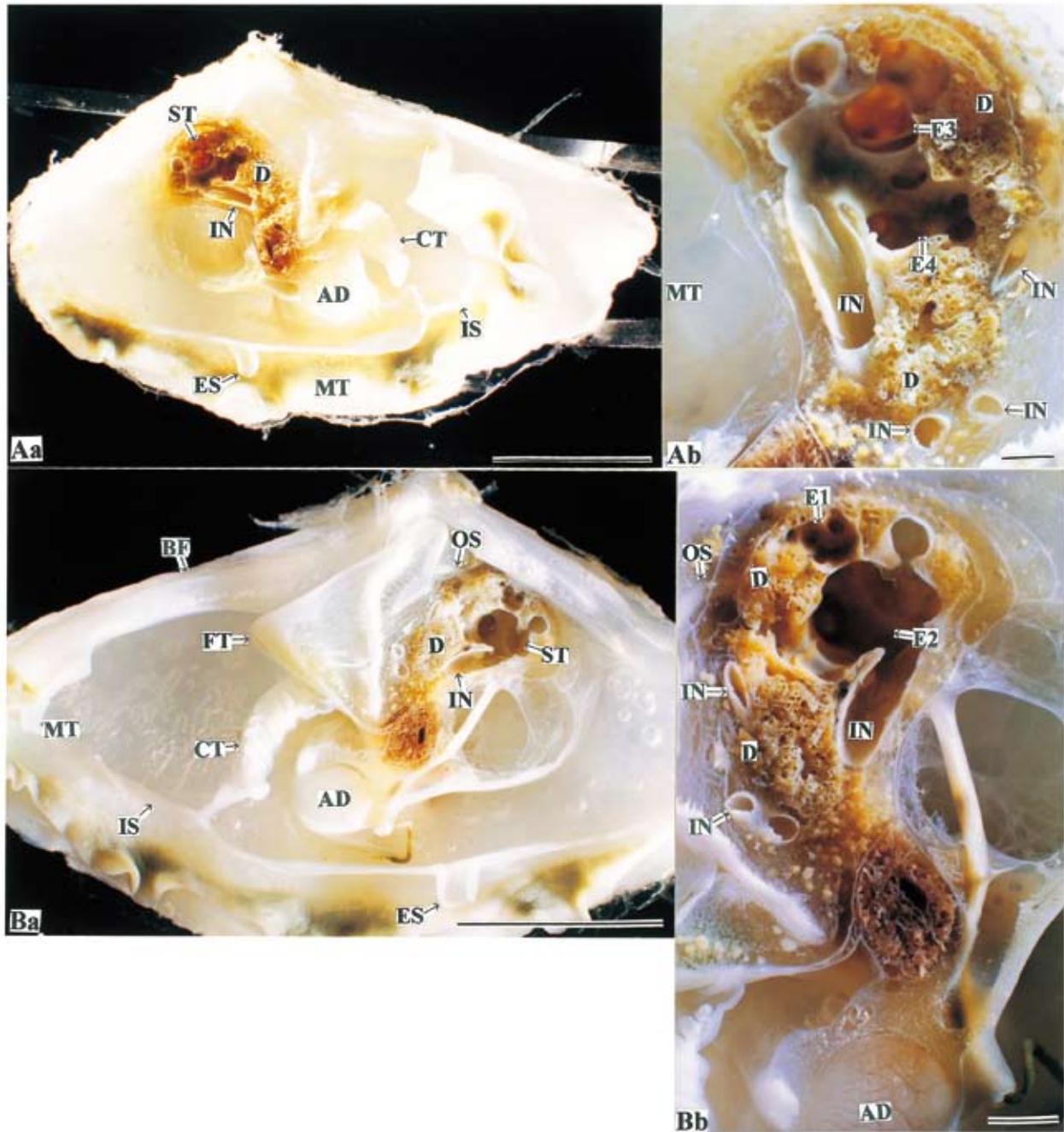
16) 山元憲一, 半田岳志, 近藤昌和 : アコヤガイの中腸腺の構造. *水大校研報*, 52(1), 31-43 (2004)

17) 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)
- 18) 山元憲一・半田岳志: アゲマキガイの中腸腺の構造. 水大校研報, 57(3), 195-207 (2009)
- 19) 山元憲一・半田岳志: ハマグリの中腸腺の構造. 水大校研報, 57(3), 209-218 (2009)
- 20) Yonge C M : Mantle chamber and water circulation in the Tridacnidae (Mollusca) . *Rroc Zool Soc Lond*, 123, 551-561 (1953)
- 21) Yonge C M : Functional morphology and evolution in the Tridacnidae (Mollusca: Bivalvia : Cardiacea). *Rec Aust Mus*, 33(17), 735-777 (1980)
- 22) Mansour K : Communication between the dorsal edge of the mantle and the stomach of *Tridacna*. *Nature*, 157, 844 (1946)
- 23) Norton J H, Shepherd M A, Long H M and Fitt W K : The zooxanthellal tubular system in the giant clam. *Biol bull*, 183, 503-506 (1992)
- 24) Trench R K, Wetthey D S and Porter J W : Observations on the symbiosis with zooxanthellae among the Tridacnidae (Mollusca, Bivalvia). *Biol bull*, 161, 180-198 (1981)
- 25) Reid R G, Fankboner P V and Brand D G: Studies on the physiology of the giant clam *Tridacna gigas* Linne - I. Feeding and digestion. *Comp Biochem Physiol*, 78A, 95-101 (1984)
- 26) Klumpp D W, Bayne B L and Hawkins A J S: Nutrition of the giant clam *Tridacna gigas* (L.). I. Contribution of the filter feeding and photosynthates to respiration and growth. *J Exp Mar Biol Ecol*, 155, 105-122 (1992)
- 27) Klumpp D W and Lucas J S : Nutritional ecology of the giant clam *Tridacna tevoroa* and *T. derasa* from Tonga: influence of light on filter-feeding and photosynthesis. *Mar Ecol Prog Ser*, 107, 147-156 (1994)
- 28) Handa T and Yamamoto K : Corrosion casting of the digestive diverticula of the pearl oyster, *Pinctada fucata martensii* (Mollusca : Bivalvia). *J Shell Res*, 22(3), 777-779 (2003)
- 29) Namba K, Kobayashi M, Aida S, Uematsu K, Yoshida M, Kondo Y and Miyata Y : Persistent relaxation of the adductor muscle of oyster *Crassostrea gigas* induced by magnesium ion. *Fish Sci*, 61, 241-244 (1995)
- 30) Bell T A and Lightner D V : A handbook of normal Penaeid shrimp history. World aquaculture society, USA, pp2.
- 31) 山元憲一・半田岳志: アサリの中腸腺の構造. 水大校研報, 58(2), 000-000 (2009)



**Fig. 1.** Outside view of whole body (a) and the soft part (b) of the Scalded clam, *Tridacna squamosa*. D, digestive diverticula; MT, mantle; AD, adductor muscle; ES, exhalant siphon; IS, inhalant siphon; BF, byssal funnel. Bar=1cm.



**Fig. 2.** Cross-section surfaces of the soft part of the Scalded clam. a, left side view ; b, right side view ; ST, stomach ; OS, oesophagus ; IN, intestine ; D, digestive diverticula ; E 1 - 4, embayment ; CT, ctenidium ; MT, mantle ; AD, adductor muscle ; IS, inhalant siphon ; ES, exhalant siphon ; BF, byssal funnel ; FT, foot. Bars in Aa and Ba=1cm, Bars in Ab and Bb=100  $\mu$  m.



Fig. 3. Cross-section surfaces of the soft part of the Scalded clam. A, right side view ; B, left side view ; b, magnified view of the circumference of the stomach in a. ST, stomach ; OS, oesophagus ; D, digestive diverticula ; IN, intestine ; E1 -4, embayment ; GD, gonad ; M, mouth. Bars=100  $\mu$ m.

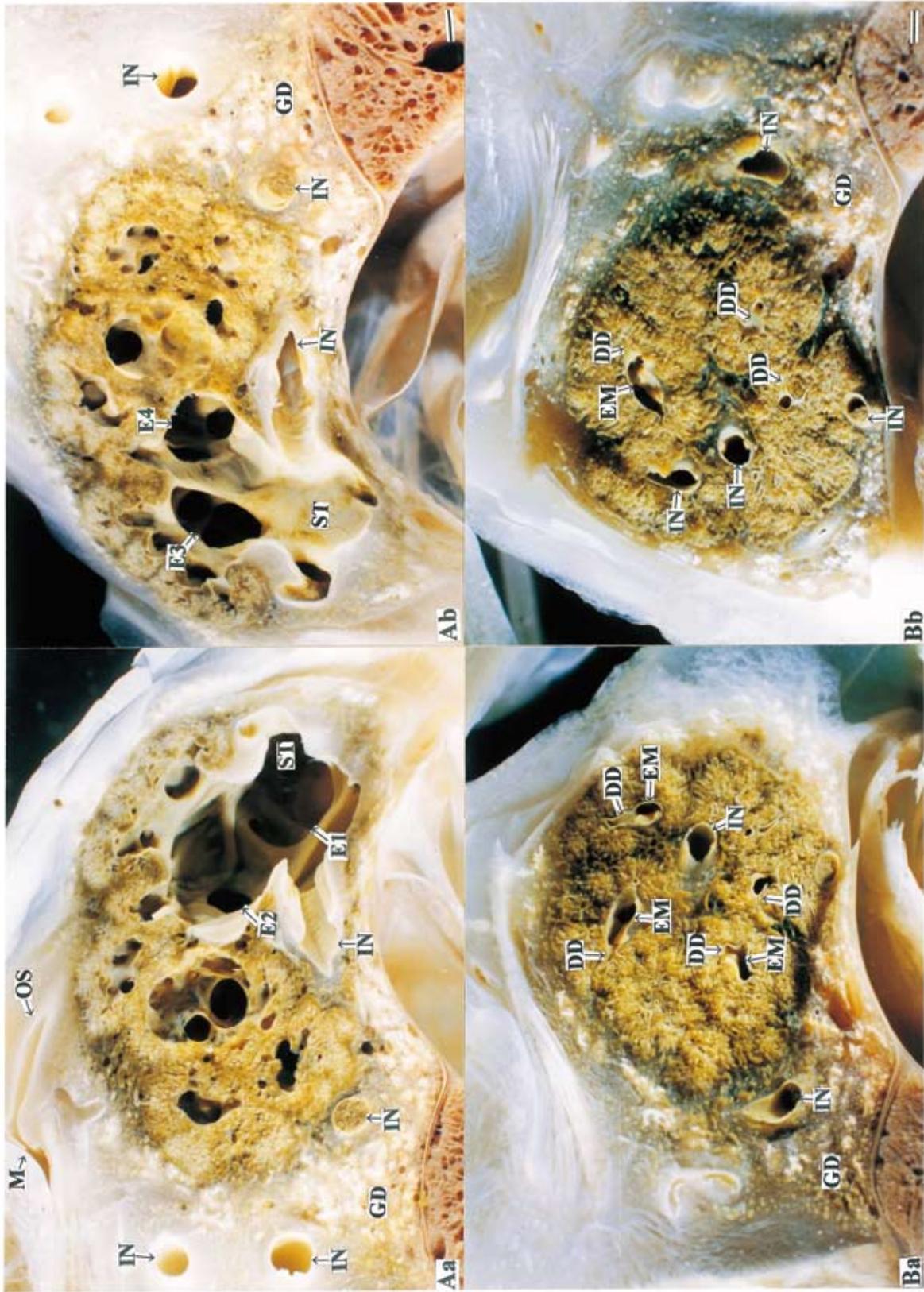


Fig. 4. Cross-section surfaces of the soft part of the Scalded clam. A, right side view ; B, left side view ; b, magnified view of the circumference of the stomach in a ; ST, stomach ; OS, oesophagus ; IN, intestine ; E1-4 and EM, embayment ; DD, duct ; GD, gonad ; M, mouth. Bars=100  $\mu$ m.

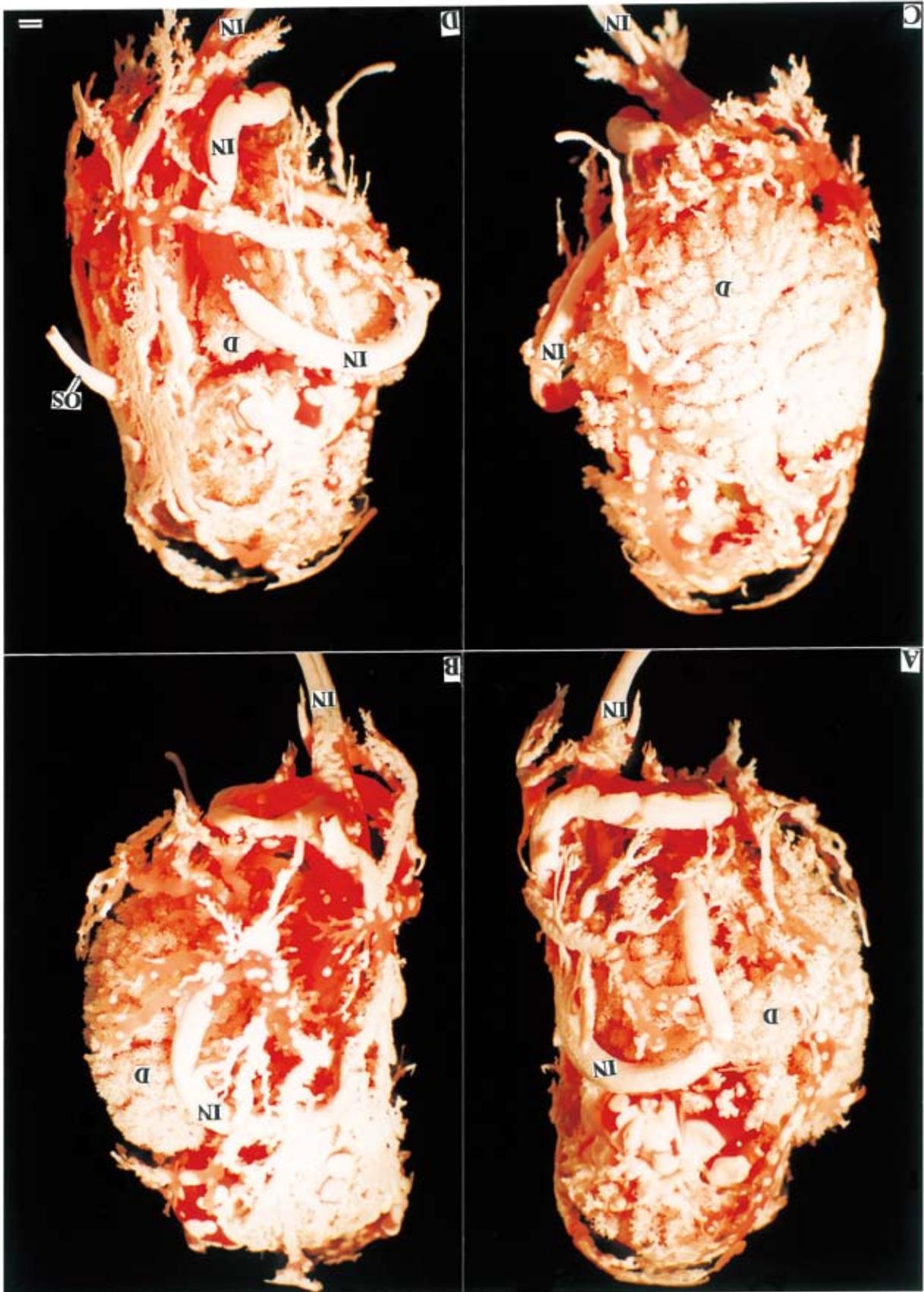
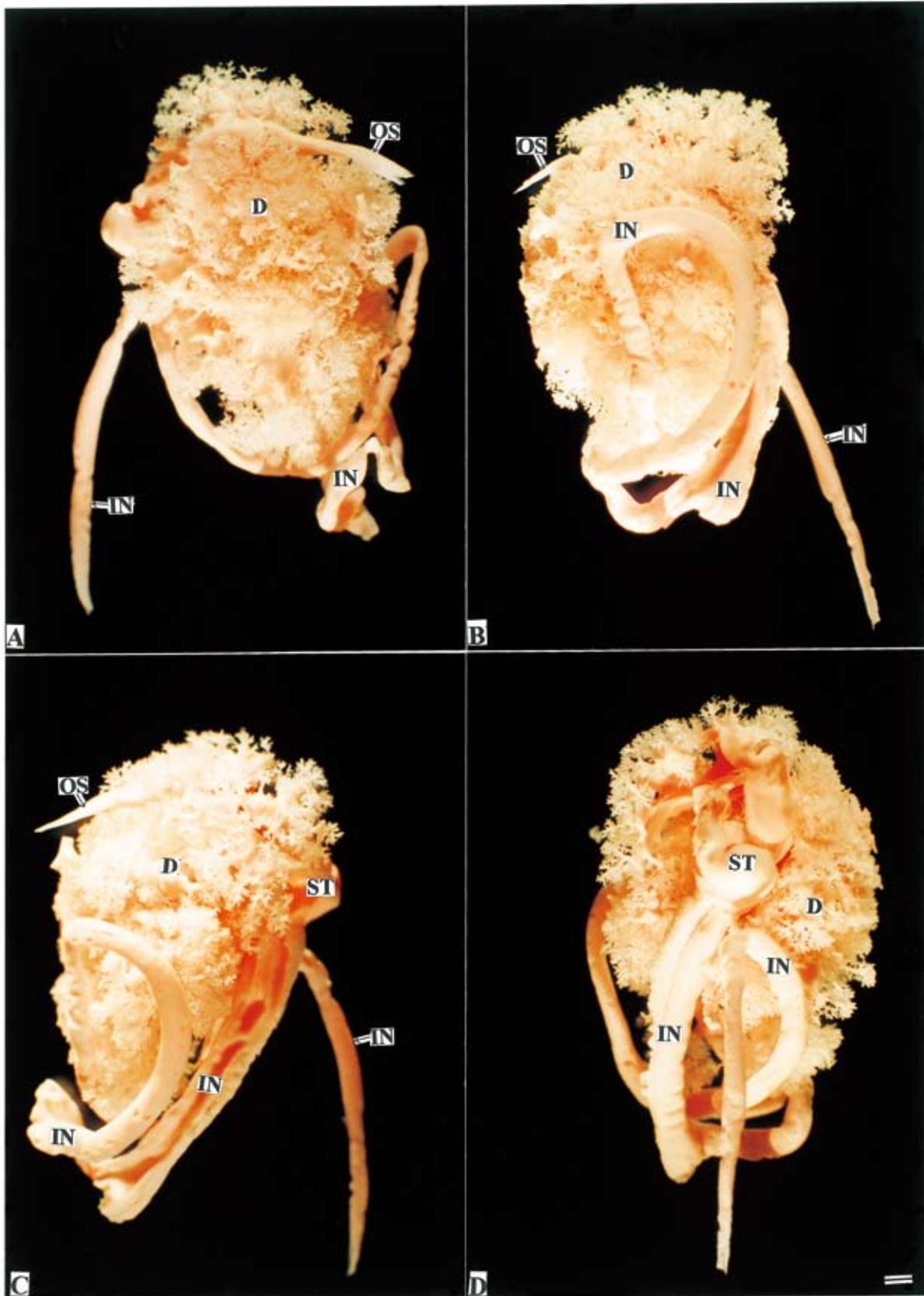
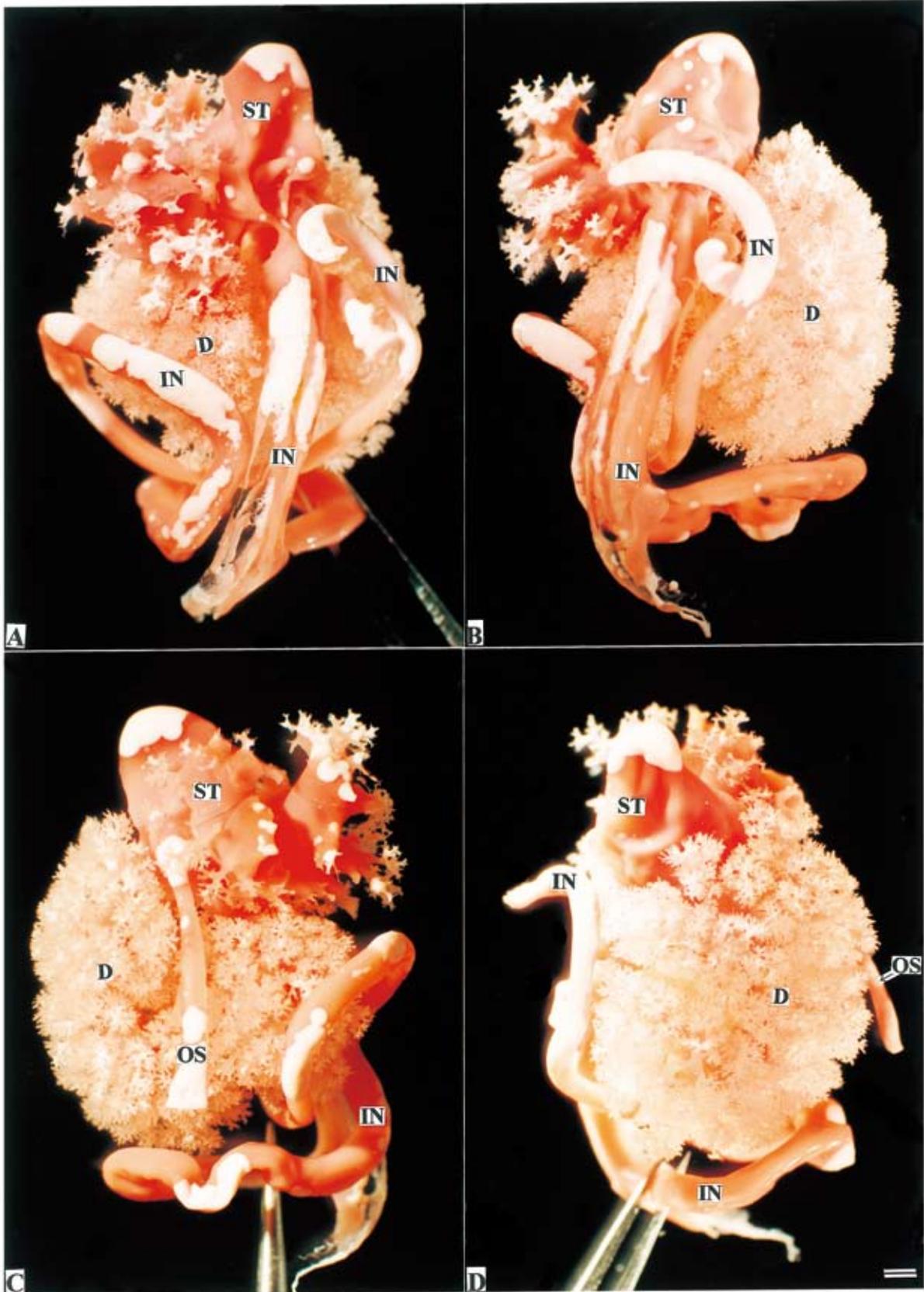


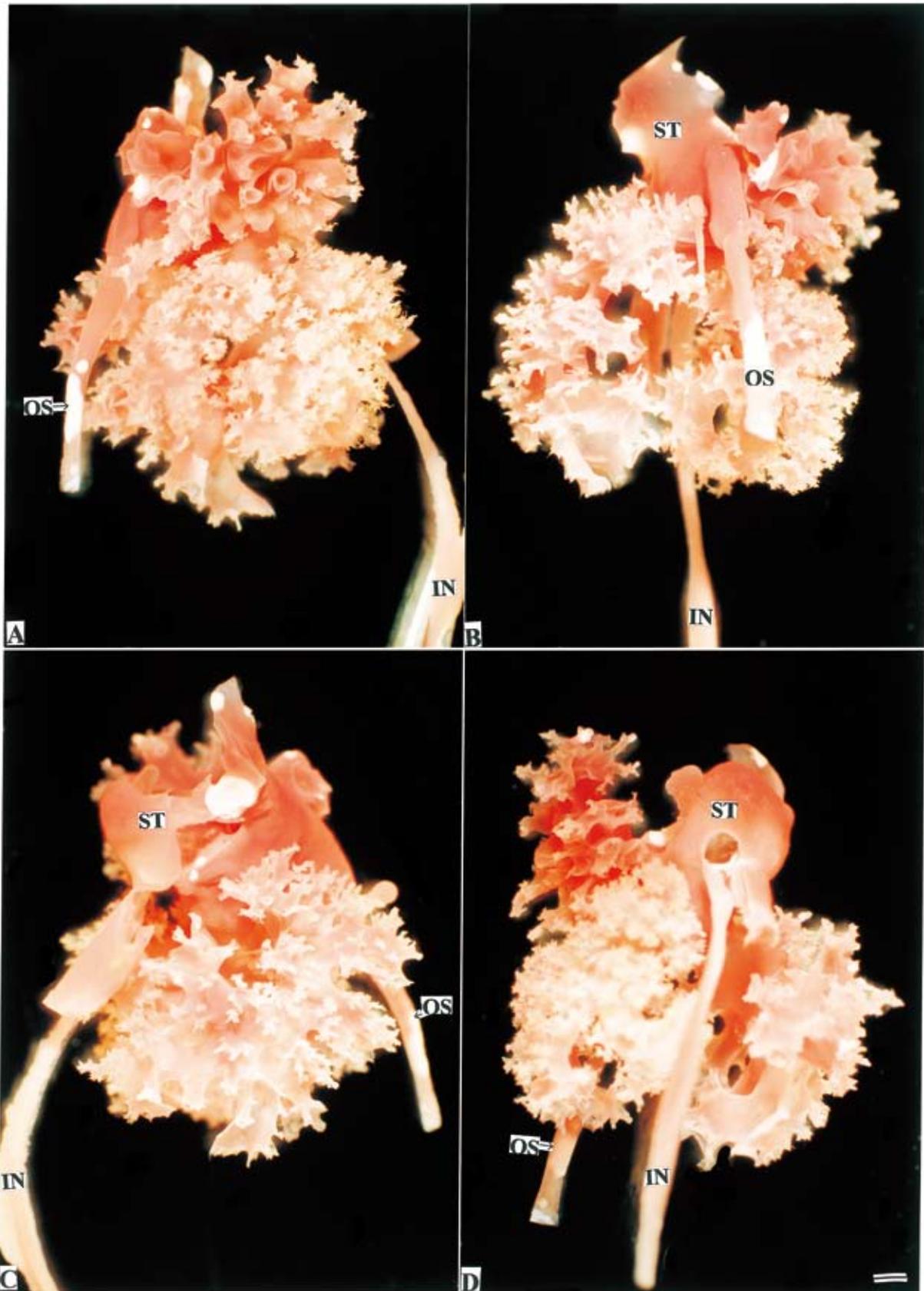
Fig. 5. Corrosion cast replica of the digestive organ of the Scalded clam. A, left side view ; B, right side view ; C, exhalant side view ; D, inhalant side view ; D, digestive diverticula ; IN, intestine ; OS, oesophagus. Bars=100  $\mu$  m.



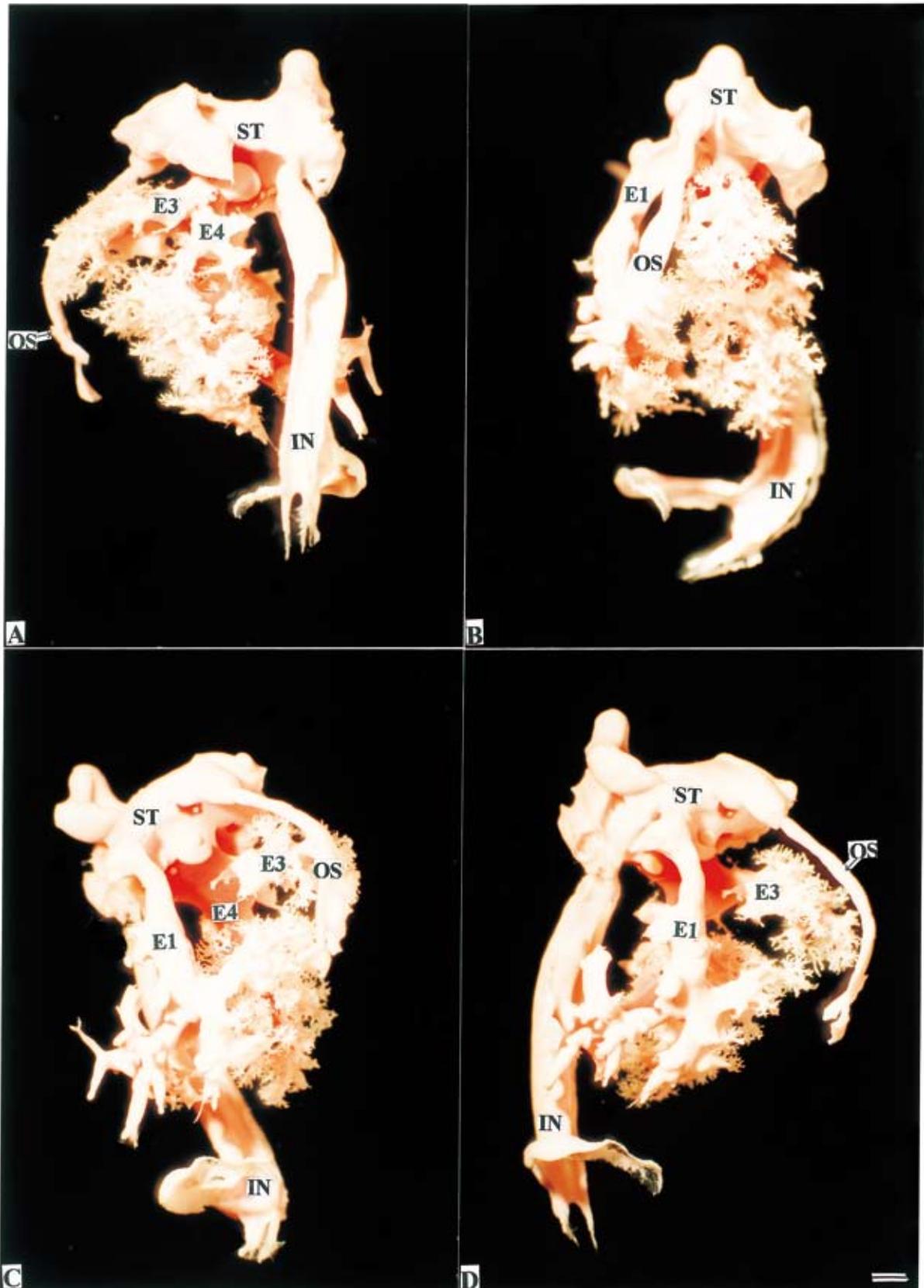
**Fig. 6.** Corrosion cast replica of the digestive organ of the Scalded clam. A, right side view ; B, inhalant side view ; C, left side view ; D, exhalant side view ; ST, stomach ; D, digestive diverticula ; IN, intestine ; OS, oesophagus. Bars=100  $\mu$  m.



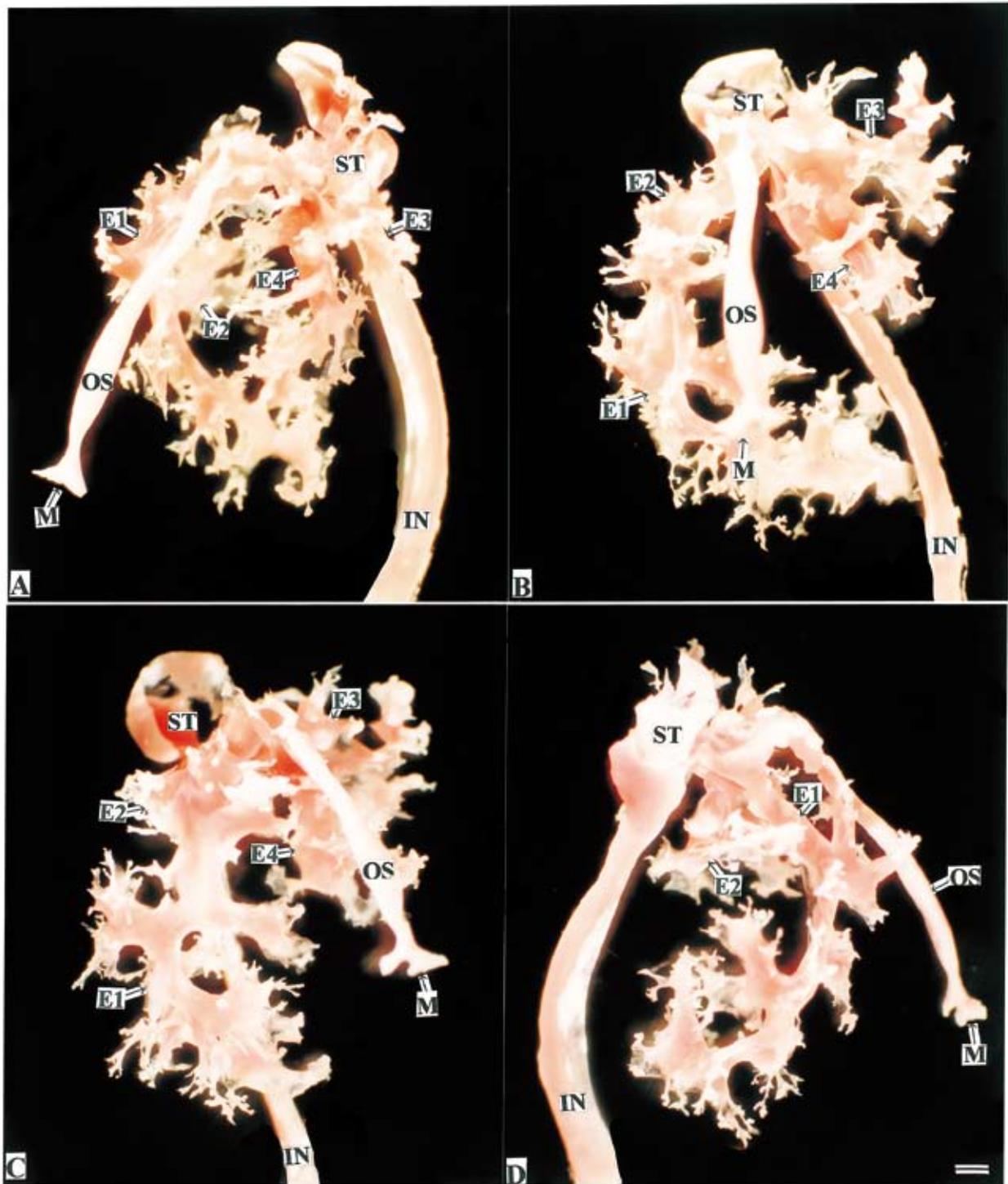
**Fig. 7.** Corrosion cast replica of the digestive organ of the Scalded clam. A, left side view ; B, exhalant side view ; C, inhalant side view ; D, right side view ; ST, stomach ; D, digestive diverticula ; IN, intestine ; OS, oesophagus. Bars=100  $\mu$  m.



**Fig. 8.** Corrosion cast replica of the digestive organ of the Scalded clam. A, left side view ; B, inhalant side view ; C, right side view ; D, exhalant side view ; ST, stomach ; IN, intestine ; OS, oesophagus. Bars=100  $\mu$ m.



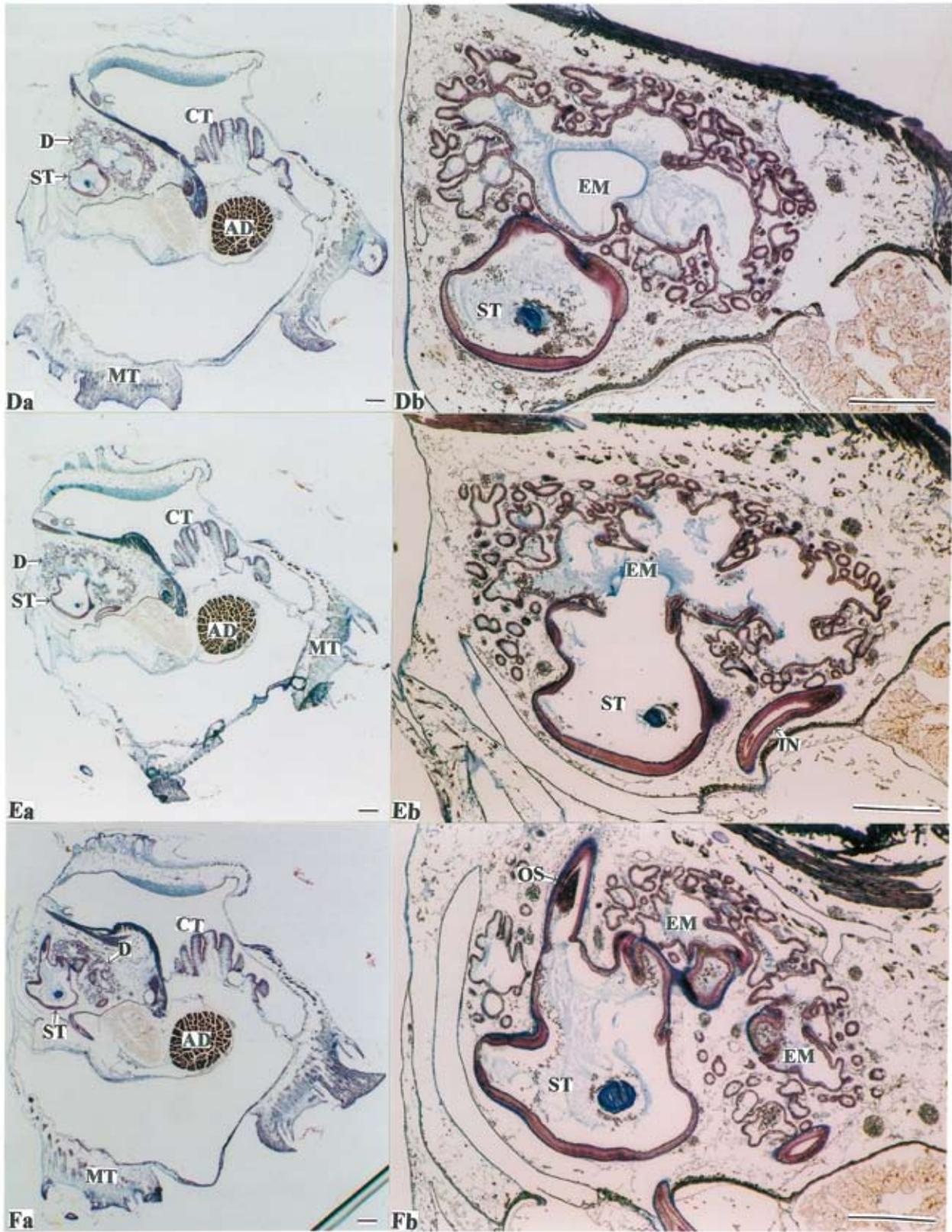
**Fig. 9.** Corrosion cast replica of the digestive organ of the Scalded clam. A, left side view ; B, inhalant side view ; C, exhalant side view ; D, right side view ; ST, stomach ; E 1 - 4, embayment ; IN, intestine ; OS, oesophagus. Bars=100  $\mu$  m.

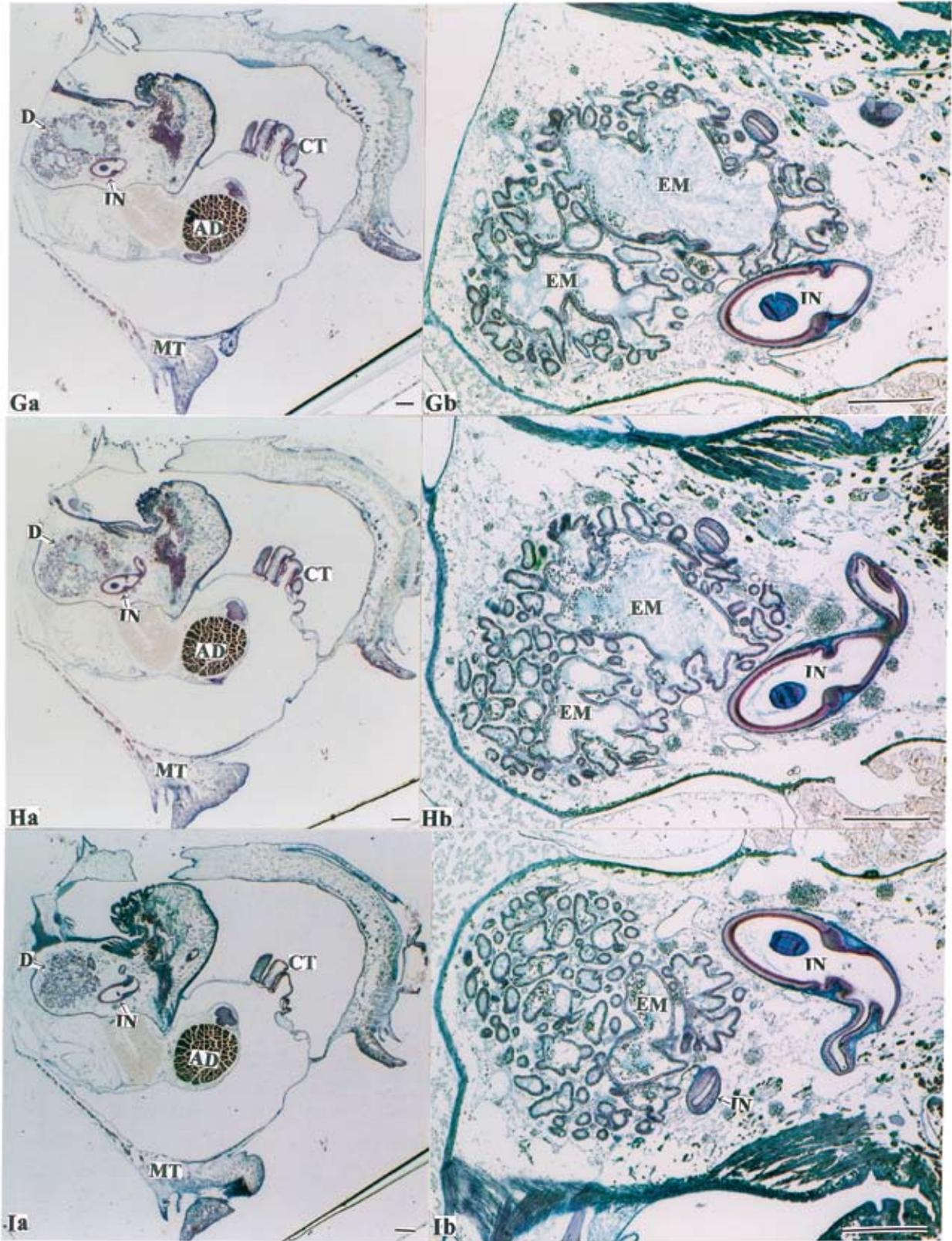


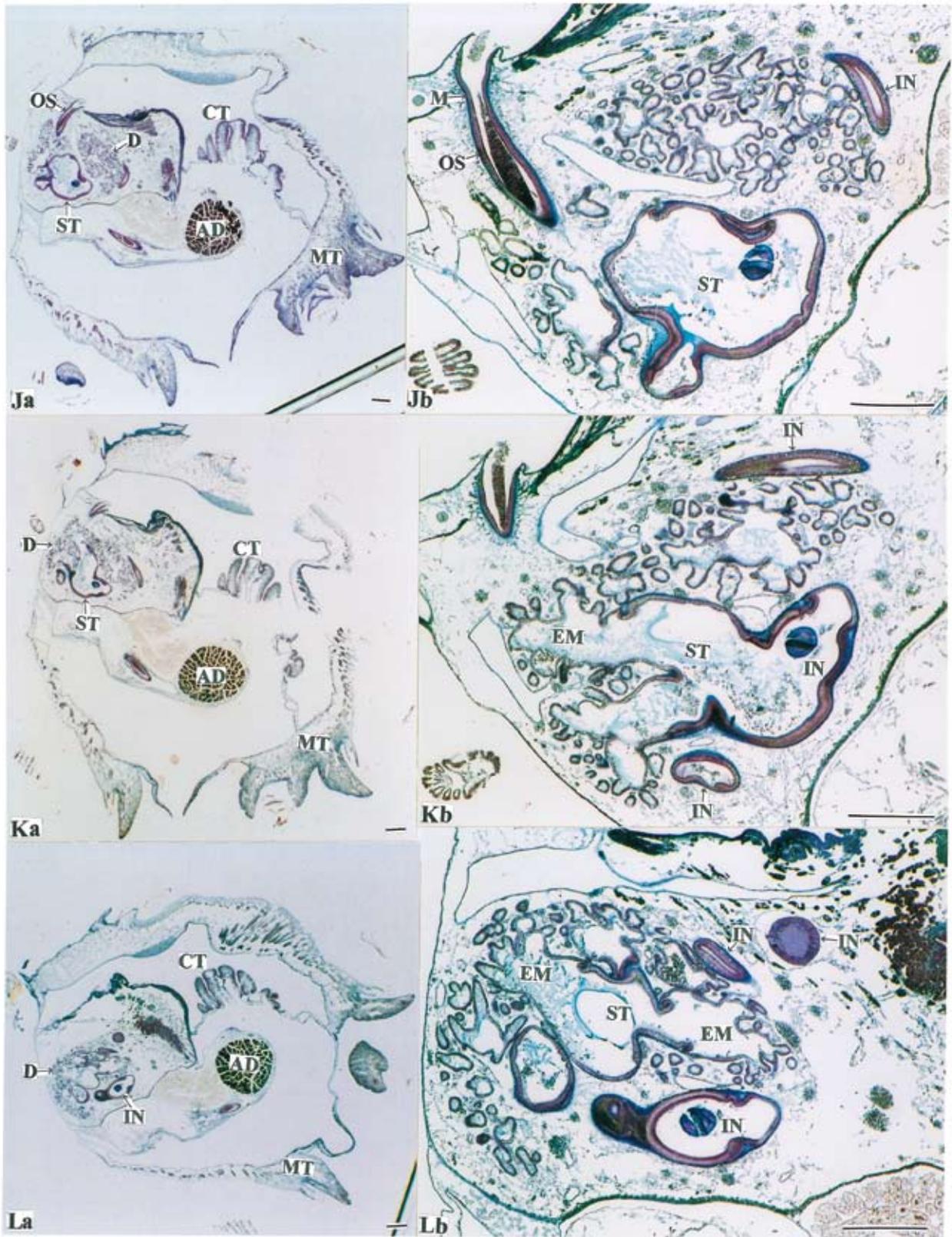
**Fig. 10.** Corrosion cast replica of the digestive organ of the Scalded clam. A, left side view ; B, inhalant side view ; C, exhalant side view ; D, right side view ; ST, stomach ; E 1 - 4, embayment ; IN, intestine ; OS, oesophagus ; M, mouth. Bars=100  $\mu$  m.

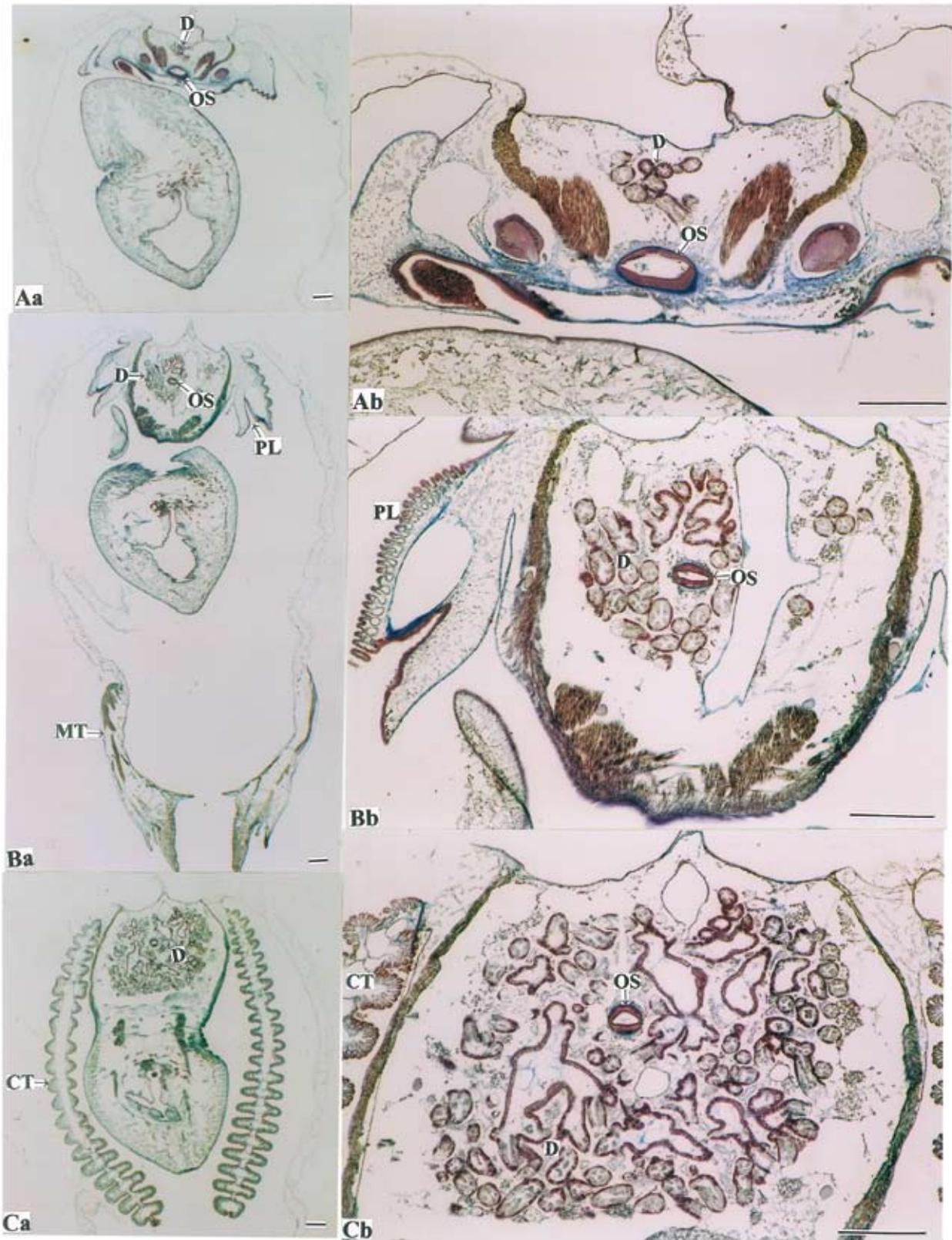


**Fig. 11.** Vertical sections of the body of the Scalded clam. b, magnified view of the circumference of the stomach in a ; AD, adductor muscle ; MT, mantle ; CT, ctenidium ; ST, stomach ; D, digestive diverticula ; EM, embayment ; IN, intestine ; OS, oesophagus. Aazan staining. Bars=100  $\mu$  m.

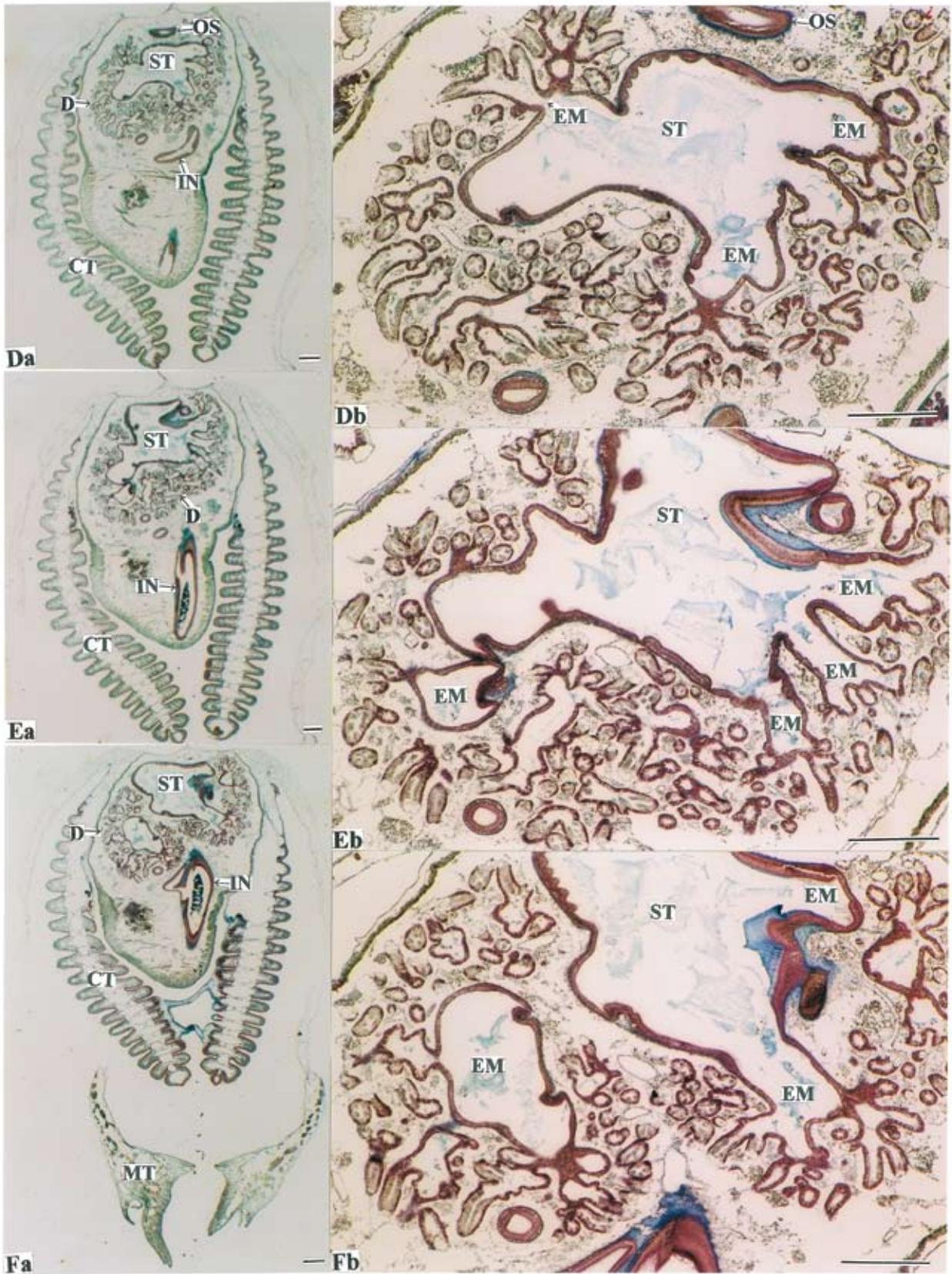


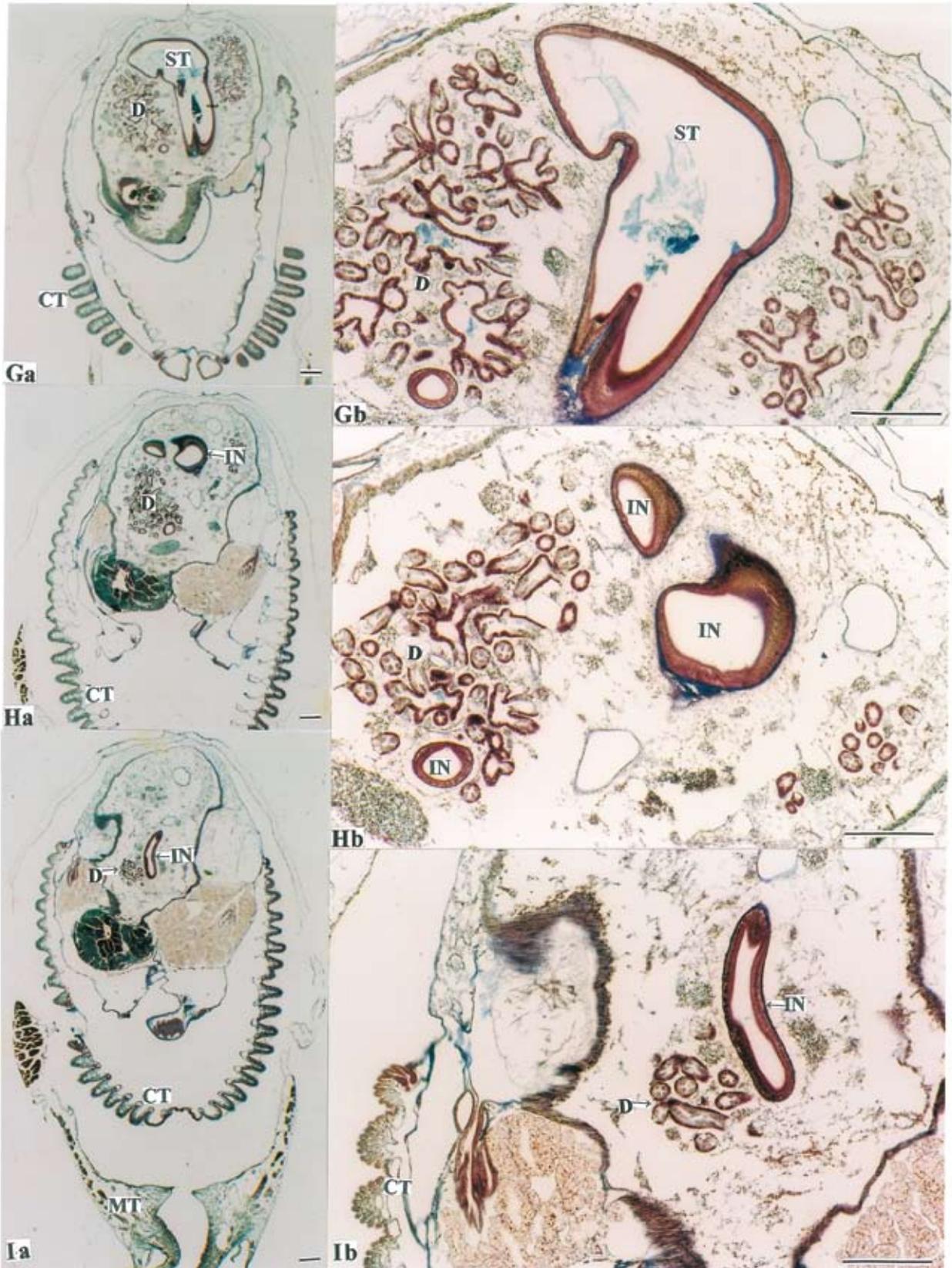


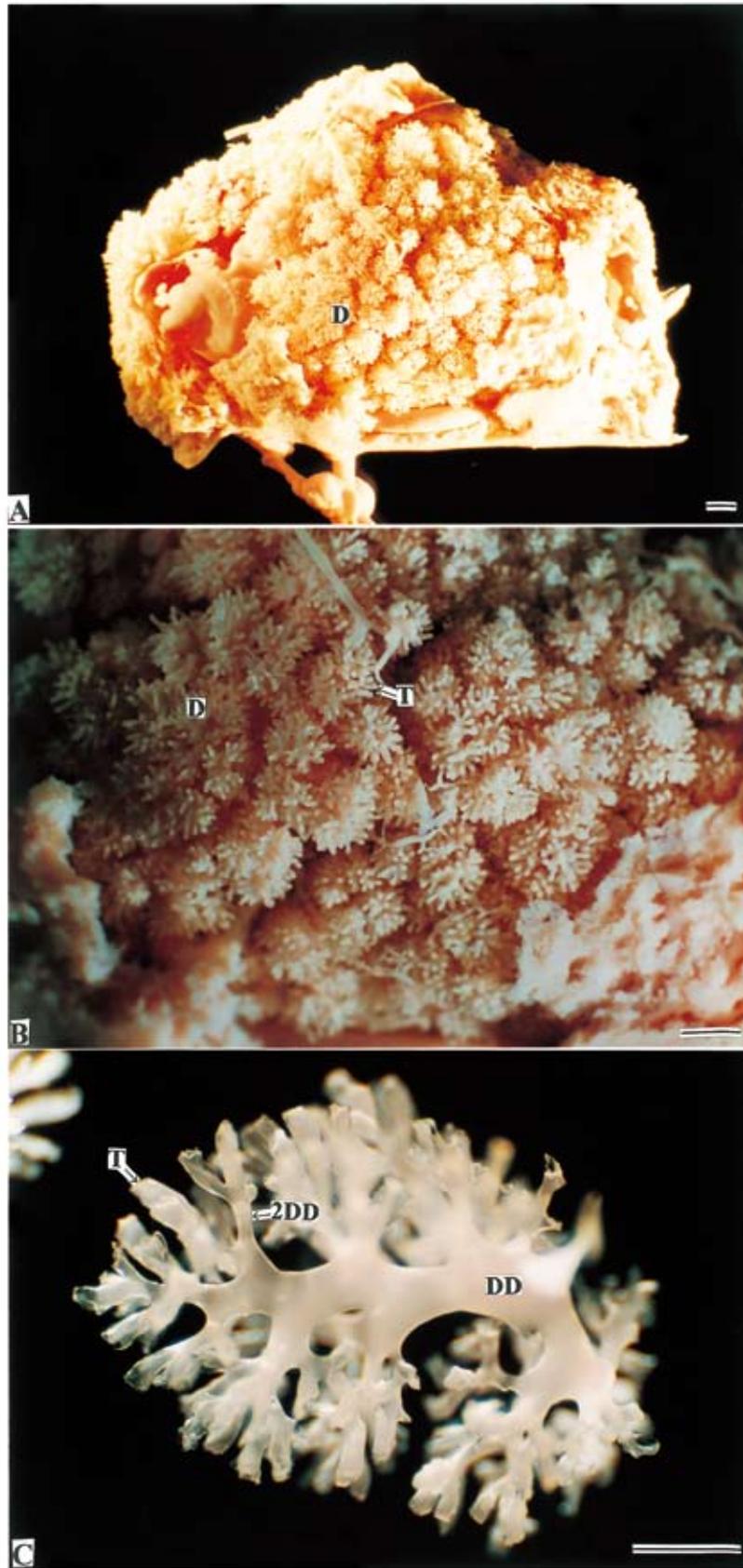




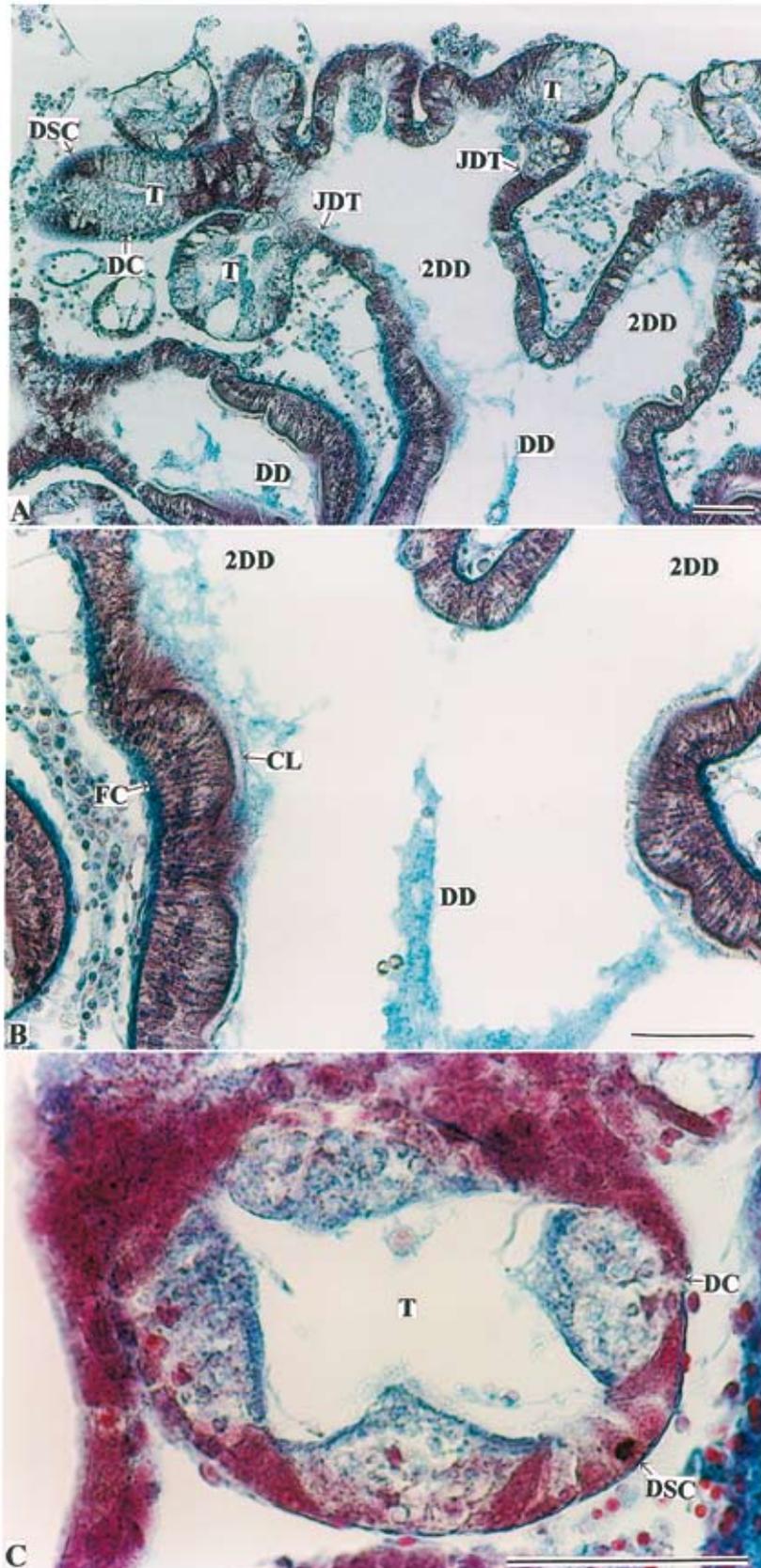
**Fig. 12.** Horizontal sections of the body of the Scalded clam. b, magnified view of the circumference of the stomach in a ; D, digestive diverticula ; OS, oesophagus ; PL, labial pulp ; MT, mantle ; CT, ctenidium ; ST, stomach ; EM, embayment ; IN, intestine. Azan staining. Bars=100  $\mu$  m.







**Fig. 13.** Corrosion cast replica of the digestive organ of the Scalded clam. D, digestive diverticula ; T, tubule ; DD, main duct ; 2 DD, secondary duct. Bars in A and B=100  $\mu$ m, bar in C=10  $\mu$ m.



**Fig. 14.** Duct and tubule of the digestive diverticula of the Scalded clam. DD, main duct; 2DD, secondary duct; JDT, junction of a duct with a tubule; T, tubule; FC, flagellated cells; CL, cilium; DC, digestive cell; DSC, darkly staining cell. Azan staining. Bars=10 μm