

单环刺螠消化道的发生和分化

陈宗涛¹, 张志峰¹, 康庆浩², 邵明瑜¹

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 2. 韩国国立全南大学校 水产养殖系, 全罗南道 丽水 550-749)

摘要:用组织学、组织化学和电镜技术对单环刺螠(*Urechis unicinctus*)消化道的发生及分化进行研究。结果表明,单环刺螠消化道起源于原肠胚期内陷而成的原肠腔;至早期担轮幼虫时期,消化道连通,开始摄食,此时咽管腔直径不同消化道可分为口、食道、胃、中肠及后肠。附着变态后,其消化道在结构及功能上都有了明显的发育与分化。至蠕虫状幼虫时期,食道、胃及后肠已出现黏膜下层及肌层。嗦囊与砂囊可明显区分。中肠已产生肌纤维的分化,呼吸肠由中肠分化而来,其胞体细长,且核质比较小,可与中肠明显区分。至幼螠时期,食道前端产生了咽部的分化,至此消化道各部位在结构及功能上都与成体有了很大的相似性,即由口、咽、食道、嗦囊、砂囊、胃、中肠、呼吸肠、后肠和肛门组成。组织化学研究结果表明,随着发育,消化道各部位分别呈现不同的碱性磷酸酶、酸性磷酸酶、脂酶、ATP酶、非特异性酯酶及多糖类物质活性。[中国水产科学,2006,13(5):700-707]

关键词:单环刺螠;消化道;发生;分化

中图分类号:Q954.58 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2006)05-0700-08

幼虫消化道发生及发育的研究对生产实践中幼体投饵及生长检测具有重要的指导作用。目前国内外在该领域已对多种鱼类、虾、蟹等经济物种进行了研究^[1-3]。单环刺螠(*Urechis unicinctus*)俗称海肠子,属于螠虫动物门(Echiuroidea),螠纲(Echiurida),无管螠目(Xenopneusta),刺螠科(Urechidae),刺螠属(*Urechis*)。由于其味道鲜美,营养丰富,近年来已被人们关注,并初步开展了生产化养殖^[4]。邵明瑜等^[5]报道了成体单环刺螠消化道的细胞学结构,将其分为咽、食道、嗦囊、砂囊、胃、中肠、呼吸肠及后肠。但有关其消化道的发生和分化方面的研究,目前尚未见报道。本研究对单环刺螠早期发育过程中消化道的发生进行观察与分析,并进一步对其几种主要消化酶和多糖类物质进行了组织化学特性的研究,以期为将来单环刺螠的人工育苗,幼虫的消化生理以及增养殖开发等提供有益的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用单环刺螠成体购自青岛四方路海产品市

场,产地为烟台沿海,体长15~25 cm,外表健康无伤痕。

解剖成熟的雌雄个体,从肾管中获取成熟两性生殖细胞进行人工授精(图版I-1、2)。受精卵经洗卵后转入50 cm×30 cm×30 cm的培养缸中培养。孵化后担轮幼虫培养密度(35±15) ind/mL,体节幼虫后转入含纯泥底质水缸中,底质厚6 cm,培养密度0.2 ind/cm²。水温为室温(16~21℃),pH 7.88±0.02,盐度29±1。授精24 h后通气,每隔1~2天换水1次。48 h后开始投喂单细胞藻类,每天早晚各投喂1次。培养期间,根据发育阶段,分别取囊胚、原肠胚、早期担轮幼虫、晚期担轮幼虫、体节幼虫、蠕虫状幼虫(5 mm、1 cm、2.5 cm)及幼螠(4 cm以上)等发育时期(图版I),分别用于下列各实验。

1.2 方法

1.2.1 组织学 取各期样本于Bouin's液中固定4~24 h,其中体节幼虫之前采用琼脂石蜡双包埋法,体节幼虫后采用常规石蜡包埋法。美国AO轮式切片机上进行连续切片,厚度为5~7 μm。HE染色,Olympus BH-2显微镜观察、拍照。

1.2.2 电镜 样本(早期担轮幼虫、晚期担轮幼虫、

收稿日期:2005-05-24; 修订日期:2005-11-21。

基金项目:国家自然科学基金面上基金项目(30271039);NSFC-KOSEF国际合作资助项目。

作者简介:陈宗涛(1978-),男,硕士,主要从事海洋动物发育生物学研究。E-mail:chenzongtao1978@hotmail.com

通讯作者:张志峰。Tel:0532-82031647;E-mail:zrfp107@ouc.edu.cn

蠕虫状幼虫的胃及中肠)于2.5%戊二醛中预固定,1%锇酸后固定,Epon-812包埋。NOVA超薄切片机超薄切片,常规铀、铅双染色,日立H-7000型透射电镜观察拍照。

1.2.3 组织化学 各期样本于80%丙酮中4℃固定,包埋切片,Gomori钙-钴法、硝酸铅法、醋酸 α -萘酚法和吐温80法分别显示碱性磷酸酶、酸性磷酸酶、非特异性酯酶和脂酶;样本于Bouin's液固定后,AB-PAS反应显示中性及酸性黏多糖;80%酒精,4℃固定后,Meisel铅法显示ATP酶^[6]。

2 结果与分析

2.1 原始消化道的发生

单环刺螭受精卵经全裂形成典型的腔囊胚(图版Ⅱ-1),其表面遍生纤毛,之后植物极细胞伸长并以内陷方式进入囊胚腔内形成原肠(图版Ⅱ-2)。单环刺螭原肠内陷程度很高,至原肠晚期时可见内陷的内胚层细胞与外胚层细胞非常接近,甚至在个别位置内外两层相贴,由此囊胚腔被挤得十分狭窄。进入晚期原肠胚后,胚胎中部的细胞略向外突出,使胚胎略呈飞碟状。至原肠胚结束时,原始消化道尚未连通,仅为由内胚层形成的直管状原肠。

原肠作用完成后,即胚胎于受精后24 h由卵膜孵出,胚体上浮,进入担轮幼虫时期。此时原肠腔内壁细胞仍具纤毛,原口位置较原肠胚发生偏转,由后端移至胚体中部口前纤毛环之下。同时内外胚层细胞变小,原肠腔增大,消化道细胞间尚无明显区别(图版Ⅱ-3)。在电镜下可见,早期担轮幼虫消化道细胞内线粒体及嵴较不发达,某些细胞内可见大量糙面内质网及酶原颗粒。受精后48 h,肛门打通,幼虫开始摄食,此时消化道才有了一定的雏形,在虫体内呈U形卷曲。至中期担轮幼虫,消化道可大致分为食道、胃、中肠及后肠(图版Ⅱ-4)。各部位皆由单层细胞构成,食道细长,后接略为膨大的胃,后肠开口于虫体后端的肛门。电镜下可见中肠细胞有微绒毛(图版Ⅲ-1、2),且个别细胞含一定数量的纤维(图版Ⅲ-3)。组化结果显示,碱性磷酸酶、酸性磷酸酶、ATP酶、非特异性酯酶、脂酶在内胚层显示不同的活性,外胚层则呈阴性(图版Ⅲ-6)。

随着发育,原始消化道将进一步分化为咽、食道、嗦囊、砂囊、胃、中肠及后肠。

2.2 咽和食道的发生及分化

食道在担轮幼虫时期位于口凹之后,较为细长。

上皮细胞矮柱状,细胞核位于细胞中央,核质比大,胞质嗜酸性强,游离面有角质层。至体节幼虫时期,食道细胞仍为矮柱状单层上皮细胞构成。发育至蠕虫状幼虫,食道壁开始加厚,在上皮细胞下可见肌纤维出现。当蠕虫状幼虫长至1 cm时,上皮向管腔内突起,形成皱褶。在单层柱状上皮可见少量肌纤维。肌纤维下为较厚的结缔组织构成的黏膜下层。外膜为浆膜(图版Ⅱ-5)。当幼虫长至2.5 cm时,食道壁继续增厚,皱褶加深。在皱褶下出现环肌层(图版Ⅱ-6)。至4 cm幼螭时,食道纵行皱褶进一步增多,黏膜下层较薄,肌层明显,主要为环肌构成。外膜为浆膜。至此,食道分化完全,已与成体基本一致。

食道于幼螭期呈ATP酶弱阳性(图版Ⅲ-9)。AB-PAS染色显示,食道外膜、纤毛上皮呈蓝色,表明含酸性黏多糖。

咽部分化时间较晚。至4 cm幼螭时,食道前部分增厚。此处上皮皱褶较食道平缓,细胞核近胞体基部。黏膜下层较为发达,肌层不明显。外膜为浆膜(图版Ⅱ-7)。

2.3 嗦囊和砂囊的发生及分化

嗦囊和砂囊分化的时间较晚。直至1 cm蠕虫状幼虫时期,在食道和胃之间,可见部分细胞嗜碱性较强,上皮为单层纤毛上皮,呈柱形至梭形不等,但皱褶较少,且较为平缓。可见大量的杯状细胞。细胞核位于胞体中部或近基底部。随着发育的进行,至2.5 cm蠕虫状幼虫时,嗦囊和砂囊可明显区别(图版Ⅱ-8)。光镜下,嗦囊嗜碱性较强,上皮细胞向内突起形成皱褶。上皮细胞为假复层上皮,胞体内有大小不一的空泡样结构。黏膜下层及肌层都不发达。外膜为浆膜。砂囊上皮嗜酸性较嗦囊略强,上皮为单层,皱褶较少。黏膜下层极不发达。肌层较厚,主要由环肌构成(图版Ⅱ-9)。

2.4 胃的发生及分化

胃在担轮幼虫时期由单层柱状上皮细胞构成,位于食道之后略微膨大。至体节幼虫,胃部细胞增大,仍为单层,向内突起形成皱褶,细胞核位置不一。至5 mm蠕虫状幼虫时期,胃壁增厚,皱褶加深。上皮为单层柱状上皮,细胞排列紧密,细胞核位于胞体中部或近基底部。至1 cm蠕虫状幼虫时,在黏膜上皮出现了由结缔组织构成的黏膜下层,嗜酸性较强。外膜为浆膜(图版Ⅱ-10)。至2.5 cm蠕虫状幼虫时期,黏膜下层出现了较厚的环肌层。皱褶

明显,类似于嚙囊。电镜下,胃的上皮细胞兼具纤毛及微绒毛(图版Ⅲ-4)。细胞内胞器不发达,线粒体数量较多,但嵴不发达。细胞内酶原颗粒极少。随着发育进行,上皮逐渐出现纤维,且微绒毛数量有所增多(图版Ⅲ-5)。至4 cm 幼螯时,胃肌层继续增厚,各部分已与成体基本一致。

胃于蠕虫状幼虫开始呈碱性磷酸酶阳性反应(图版Ⅲ-7)。AB-PAS 染色后,其外膜、纤毛上皮、黏膜下层呈蓝色,表明含酸性黏多糖;部分细胞呈紫红色,表明分泌中性及酸性混合黏多糖(图版Ⅲ-12)。

2.5 中肠的发生及分化

中肠在担轮幼虫时期由单层柱状上皮细胞构成,较食道和胃的细胞大,细胞核位于细胞底部。蠕虫状幼虫时期,中肠仍由单层矮柱状细胞构成,细胞排列紧密,核质比大,细胞核位于胞体中部。至5 mm 蠕虫状幼虫时期,胞体增大,向管腔内突起,偶见杯状细胞(图版Ⅱ-11)。至1 cm 蠕虫状幼虫,在黏膜上皮出现嗜酸性较强的肌纤维。随着发育的进行,肌纤维不断增多增厚,且上皮细胞向管腔突起形成皱褶。至2.5 cm 蠕虫状幼虫,在黏膜上皮与肌纤维之间出现由结缔组织构成的固有层。至4 cm 幼螯时,中肠已明显分为黏膜上皮、固有层、肌层及外膜4部分。上皮为单层柱状上皮,细胞核近胞体中部。固有层较为发达,由大量结缔组织构成,嗜酸性较强。肌层明显,主要由环肌构成。外膜为浆膜。

自体节幼虫开始,中肠显示一定的碱性磷酸酶、酸性磷酸酶、ATP 酶及酯酶活性。非特异性酯酶自蠕虫状幼虫起在中肠呈阳性。AB-PAS 染色显示,中肠黏膜下层呈蓝色,表明含酸性黏多糖;中肠部分细胞呈紫红色,表明分泌中性及酸性混合黏多糖(图版Ⅲ-11)。

2.6 呼吸肠的发生及分化

呼吸肠是单环刺螯消化系统中较为特殊的结构,其发生较晚。在1 cm 蠕虫状幼虫时期,在中肠后部,可见部分细胞产生特化,胞体细长,细胞核位于胞体中部或近基底部。至2.5 cm 蠕虫状幼虫,随着胞体的不断增大,细胞核逐渐移至胞体基底部,细胞核质比明显较中肠小。胞体染色较浅,仍为单层(图版Ⅱ-12)。随着发育进行,至4 cm 幼螯,可见细胞向管腔内突起形成皱褶,上皮呈长柱状。在黏膜上皮出现了较不发达的固有层。外膜为浆膜(图版Ⅱ-13)。

幼螯期,呼吸肠呈 ATP 酶阳性反应,其余呈阴性。

2.7 后肠的发生及分化

后肠在担轮幼虫时期由单层细胞构成,位于中肠之后,管腔较小。至5 mm 蠕虫状幼虫时期,细胞分化为2层,结构松散,向两侧突起,形成一毛刷样结构。内层细胞较外层细胞嗜酸性强,且内层细胞外覆纤毛。随着发育进行,在2层细胞之间出现了1层明显的基膜。内层细胞形成黏膜上皮。至1 cm 蠕虫状幼虫,在黏膜上皮出现了黏膜下层,与上皮一起向内突起形成皱褶(图版Ⅱ-14)。至2.5 cm 蠕虫状幼虫,在黏膜下层出现了嗜酸性较强的环肌纤维。同时,外层细胞不断增长,细胞核位于胞体顶端,形成浆膜。至4 cm 幼螯,可见黏膜上皮为单层柱状,黏膜下层发达,与上皮共同构成较为明显的皱褶,向管腔内突起。肌层主要由环肌构成,较为松散,外膜为浆膜(图版Ⅱ-15)。

蠕虫状幼虫及幼螯时期,后肠呈 ATP 酶阳性(图版Ⅲ-10)。其余反应呈阴性。

3 讨论

李诺等^[4]根据幼虫的外部器官发生和生活方式的转变将单环刺螯幼虫发育分为早期担轮幼虫、晚期担轮幼虫即体节幼虫和蠕虫状幼虫。本实验在原有分期的基础上,根据消化道是否连通、摄食状况等特征,将幼虫期划分为早期担轮幼虫(孵化后至消化道刚打通前)、中期担轮幼虫(消化道连通后15~25天)、晚期担轮幼虫(幼虫下半球伸长,体节幼虫前10天以后)、体节幼虫(体节出现至附着生活以前)、蠕虫状幼虫(体节完全消失)及幼螯(吻部及尾刚毛出现)。

单环刺螯胚胎刚孵化为早期担轮幼虫时,结构与原肠胚相似,原肠腔内壁上出现纤毛,此时幼虫仍保留有原口,原口处长满纤毛,担轮幼虫的原口将发育为成体的口,而肛门由外胚层内陷打通形成。此期消化道细胞中线粒体及嵴都不发达,说明其代谢水平不高。随着幼虫发育,消化道加长且结构复杂化。前肠壁的细胞形态一致,细胞较小,核质比很大,表面有角质层,与外胚层细胞相似,推测它由外胚层细胞不断内陷而成。中肠细胞与前肠细胞明显不同,由原肠胚时期内胚层细胞内陷形成的原肠直接发育而来。电镜下其管壁细胞游离面可见一定数量的微绒毛,且在某些细胞内可见成片纤维,这些特

征说明幼虫摄食后,其消化吸收功能明显提高,蠕动能力增强。

消化道的的作用主要是进行食物的消化和吸收。本实验可见,随着发育进行,单环刺螠消化道在结构及功能上不断细化与完善。食道首先于早期担轮幼虫时期分化出来,之后逐渐变细长,并在黏膜上皮细胞游离面分布有较密集、均匀的纤毛,其多数酶活性均呈阴性反应,只在幼螠呈现微弱的ATP酶活性,说明其主要作用为食物的运输,并无消化、吸收功能。

食道之后的嗦囊及砂囊发生于蠕虫状幼虫时期,其发生表明幼虫摄食及消化能力进一步增强。在这一时期,单环刺螠幼虫刚完成附着变态、由浮游转入底栖生活,这2个部位的发生可看做是单环刺螠发育过程中的重要阶段。嗦囊及砂囊始终无各种消化酶活性。在某些物种,嗦囊也对食物进行少量的消化^[7],而在本次实验中则无此现象。嗦囊皱褶明显,其结构与鲍及某些头足类物种的嗦囊相似^[7-8]。砂囊结构较为特殊,在其他无脊椎海产动物中也未见有此结构的报道。其皱褶较少,环肌丰厚,说明具有较强的蠕动能力,且组化结果显示砂囊无消化酶活性,推测其功能可能为对食物进行进一步的研磨。自2.5 cm蠕虫状幼虫起,嗦囊具较多杯状细胞,可分泌黏液物质,对食物进行进一步的润滑及整合,有利于其对食物的运输。单环刺螠消化道结构较为简单,无消化腺,因此这些结构都有利于胃及中肠对食物的消化吸收。

胃对食物主要进行消化作用。随着发育进行,其皱褶加深,有利于增大其与食物的接触面积。在蠕虫状幼虫时期,胃相继分化出黏膜下层及肌层,这有利于增加其收缩及蠕动能力。胃部细胞兼具纤毛及微绒毛,此特征与幼龄皱纹盘鲍等物种相似,表明其除了消化之外,也具有一定的吸收功能,这与碱性磷酸酶活性呈阳性结果是一致的。在高等海洋动物中,胃主要起消化作用,并无吸收功能^[9]。这一结果也在一定程度上证明了此物种的低等性。而胃上皮细胞胞器不发达,线粒体数量虽较多,但嵴不发达,说明其在幼虫时期的代谢水平不高。

中肠是食物吸收的主要部位,各消化酶活性均呈阳性。电镜下可见其线粒体数量很多且嵴发达,表明其能量代谢能力较强。同时其黏膜上皮表面微绒毛十分发达,也说明其具有很强的吸收功能。呼吸肠是单环刺螠消化道较为特殊的部位,它位于中

肠与后肠之间,由中肠分化而来。已有报道提出,呼吸肠可接受从后肠压来的海水进行呼吸^[10]。本研究结果表明,单环刺螠呼吸肠在早期细胞排列较为松散,至2.5 cm蠕虫状幼虫时期,其呼吸肠已经有了明显的分化,细胞向管腔内突起形成皱褶,这种结构上的变化可增大其与水体的接触面积,有利于进行气体交换。

后肠在发生过程中较为特殊,首先由单层细胞分化为2层,形成一毛刷样结构,且内层细胞结构不一,较为松散。直至蠕虫状幼虫以后,才逐渐形成黏膜上皮。至幼螠阶段,已完全与成体一致,是最早完成分化的消化器官。其上皮也具有比较致密的纤毛,同时组织化学结果显示其仅具有一定的ATP酶活性,并无其他消化酶活性,表明后肠无消化及吸收功能,主要参与消化后粪便的排泄。

综上所述,单环刺螠在早期发育过程中要经历浮游至底栖生活方式的转变。在附着变态前,其消化道比较简单。转入底栖后,消化道在结构及功能上都有了明显的发育与分化;至蠕虫状幼虫时期,已基本完成消化道各部位的发生。至幼螠时期,其消化道各部位在结构及功能上都与成体有了很大的相似性。根据其消化道的发育特点,建议在未来的工人工育苗中,应于发育的初期——早期担轮幼虫时期(消化道刚刚打通)开始投饵,此时由于口尚小、消化道短且尚未完全分化,因此可投喂较小的小球藻、金藻及三角褐指藻等;至蠕虫状幼虫时期,消化道结构功能基本发育完成,此阶段之后可适当加大投喂量,并以投喂较大型的扁藻为主要饵料^[11]。

参考文献:

- [1] Ribeiro L, Sarasaquete C, Dñia M T. Histological and histochemical development of the digestive system of *Solen astyanus* (Kaup, 1858) larvae[J]. *Aquaculture*, 1999, 171: 293-308.
- [2] Zamborino I J L, Cahu C L. Ontogeny of the gastrointestinal tract of marine fish larvae[J]. *Comp Biochem and Phys C*, 2001, 130: 477-487.
- [3] 薛俊增, 靖南山, 魏 伟. 三疣梭子蟹胚胎发育过程中消化系统的发生和发育[J]. *动物学研究*, 2001, 22(5): 375-378.
- [4] 李 语, 唐永政, 宋淑莲, 等. 单环刺螠人工育苗技术的研究[J]. *齐鲁渔业*, 1997, 14(1): 1-4.
- [5] 邵明瑜, 张志峰, 康庆碧, 等. 单环刺螠消化道组织学和细胞学[J]. *中国水产科学*, 2003, 10(4): 265-270.
- [6] 芮菊生, 杜慧琴, 陈海明, 等. 组织切片技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 1980.
- [7] 崔龙波, 刘传琳, 刘 迅, 等. 皱纹盘鲍嗦囊和胃的超微结构

- 与功能[J].水产学报,2000,24(1):7-12.
- [8] 袁龙波,赵 华.长蛸消化道的组织学与组织化学研究[J].烟台大学学报,2000,13(4):277-281.
- [9] Otake T, Hirokawa J, Fujimoto H, et al. Fine structure and function of the gut epithelium of pike eel larvae[J]. J Fish Biol. 1995,47:126-142.
- [10] Julian D, Passman W E, Arp A J. Water lung and body wall contribution to respiration in an echinuran worm[J]. Respir Physiol. 1996,106(2):187-198.
- [11] Kang K H, Zhang Z F, Kim J M, et al. Effects of food organism on growth and survival of larval and juveniles *Urechis unicinctus* [J]. J Fish Sci China, 2003, 10(7):90-93.

Ontogenesis and development of digestive canal in *Urechis unicinctus*

CHEN Zong-tao¹, ZHANG Zhi-feng¹, KANG Kyoung-ho², SHAO Ming-yu¹

(1. College of Marine Life Science, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Department of Aquaculture, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea)

Abstract: The ontogenesis and development of digestive canal in *Urechis unicinctus* was studied using histological, histochemical and transmission electron microscope (TEM) methods in the laboratory. The results showed that, the digestive canal initiated from the gastrocoele, which was formed by invagination at gastrula stage. When the digestive canal opened at early trochophore, the larva began to feed. Here the digestive canal could be divided into mouth, esophagus, stomach, midgut and hindgut according to the canal diameter. After the settlement, the whole canal developed and differentiated evidently. Until the worm-shaped larva, the tela submucosa and tunica muscularis came forth at esophagus, stomach and hindgut. The craw and gizzard could be defined. The muscle fibre could be found in the midgut. The aspiratory intestine could be distinguished from the midgut by the nucleus/cytoplasm ratio. When the larva developed into juvenile, the pharynx differentiated at the anterior part of esophagus, and the whole digestive canal was extremely similar with the adult in the structure and function, consisting of mouth, pharynx, esophagus, craw, gizzard, stomach, midgut, aspiratory intestine and hindgut. Furthermore, in the histochemical study, the different parts of digestive canal showed different activity of nonspecific esterase, alkaline phosphatase, acid phosphatase, ATPase, lipase and polysaccharide. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(5): 700-707]

Key words: *Urechis unicinctus*; digestive canal; ontogenesis; development

Corresponding author: ZHANG Zhi-feng. E-mail: zzfp107@ouc.edu.cn

图标说明

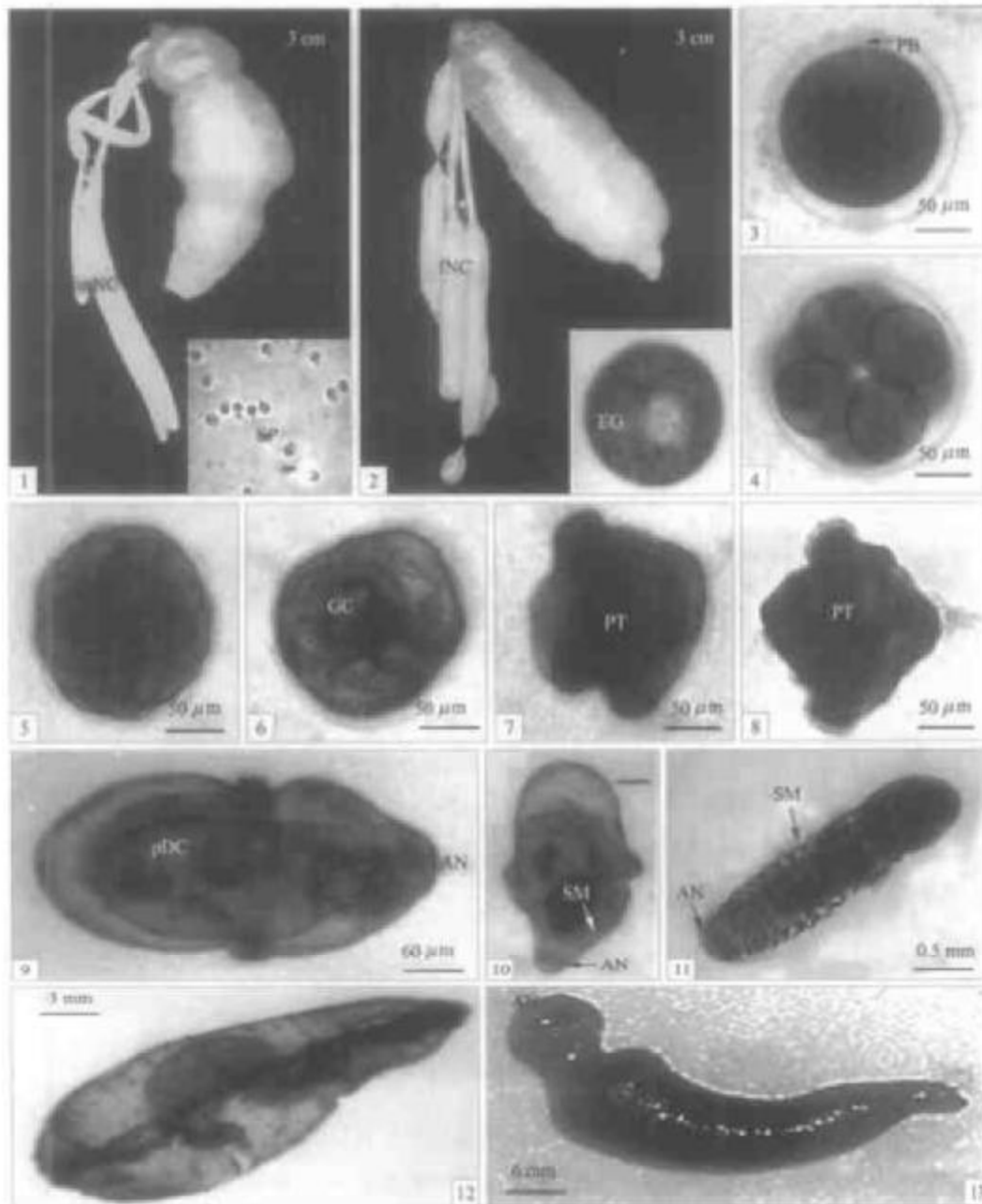
ACT: 顶纤毛束; AN: 肛门; BC: 囊胚腔; BP: 胚口; CL: 纤毛; CR: 嗦囊; DC: 消化道; ED: 内胚层; EG: 卵子; EP: 上皮细胞; ES: 食道; FB: 成纤维细胞; fNC: 雌性肾管; GC: 原肠腔; GZ: 砂囊; HG: 后肠; MG: 中肠; mNC: 雄性肾管; MV: 微绒毛; N: 细胞核; OR: 口; PB: 极体; pDC: 原始消化道; PT: 口前纤毛轮; SM: 体节; SP: 精子; ST: 胃

Legend explanation for plate

ACT: Apical cilia tuft; AN: Anus; BC: Blastocoel; BP: Blastopore; CL: Cilia; CR: Craw; DC: Digestive canal; ED: Endoderm; EG: Egg; EP: Epithelium; ES: Esophagus; FB: Fibroblast; fNC: Female nephridial canal; GC: Gastrocoele; GZ: Gizzard; HG: Hindgut; MG: Mid-gut; mNC: Male nephridial canal; MV: Microvilli; N: Nucleus; OR: Ora; PB: Polar body; pDC: Primitive digestive canal; PT: Prototroch; SM: Somite; SP: Sperm; ST: Stomach

陈宗涛等:单环刺螠消化道的发生和分化

CHEN Zong-tao et al: Ontogenesis and development of digestive canal in *Urechis unicinctus*



图版 I 单环刺螠胚胎及幼虫发育

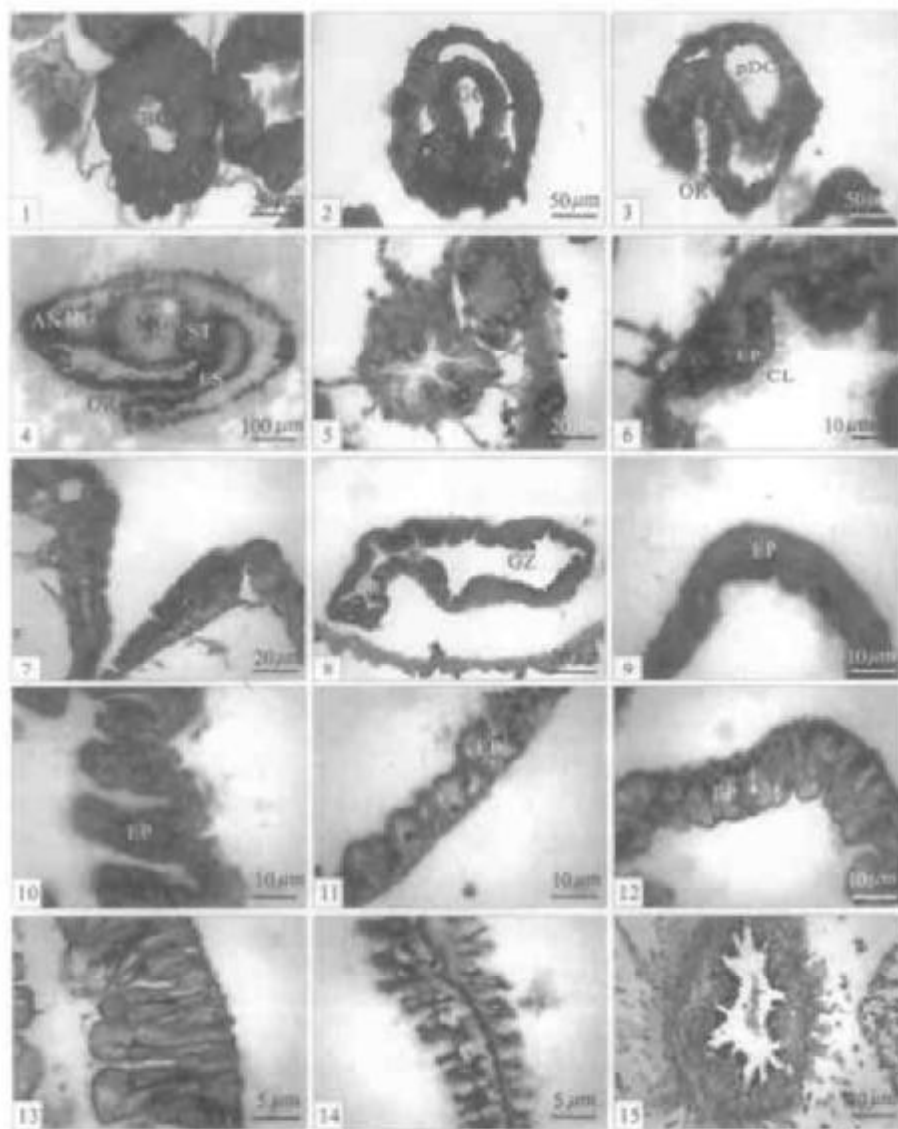
1: 雄性成熟个体, $\times 0.4$, 插图示精子, $\times 1000$; 2: 雌性成熟个体, $\times 0.4$, 插图示卵子, $\times 150$; 3: 受精卵, $\times 150$; 4: 8 细胞期, $\times 150$; 5: 囊胚, $\times 150$; 6: 原肠胚, $\times 150$; 7: 早期担轮幼虫, $\times 150$; 8: 中期担轮幼虫, $\times 150$; 9: 晚期担轮幼虫, $\times 200$; 10: 早期体节幼虫, $\times 100$; 11: 体节幼虫, $\times 10$; 12: 蠕虫状幼虫, $\times 8$; 13: 幼螠, $\times 2$ 。

Plate I The development of *Urechis unicinctus*

1: The male adult, $\times 0.4$, insert shows sperm, $\times 1000$; 2: The female adult, $\times 0.4$, insert shows egg, $\times 150$; 3: Fertilized egg, $\times 150$; 4: 8-cell stage, $\times 150$; 5: Blastula, $\times 150$; 6: Gastrula, $\times 150$; 7: Early trochophore, $\times 150$; 8: Mid-trochophore, $\times 150$; 9: Late trochophore, $\times 200$; 10: Early somite larva, $\times 100$; 11: Somite larva, $\times 10$; 12: Worm-shaped larva, $\times 8$; 13: Juvenile, $\times 2$.

陈宗涛等:单环刺缢消化道的发生和分化

CHEN Zong-tao et al: Ontogenesis and development of digestive canal in *Urechis unicinctus*



图版Ⅱ 单环刺缢消化道的发生及分化(HE)

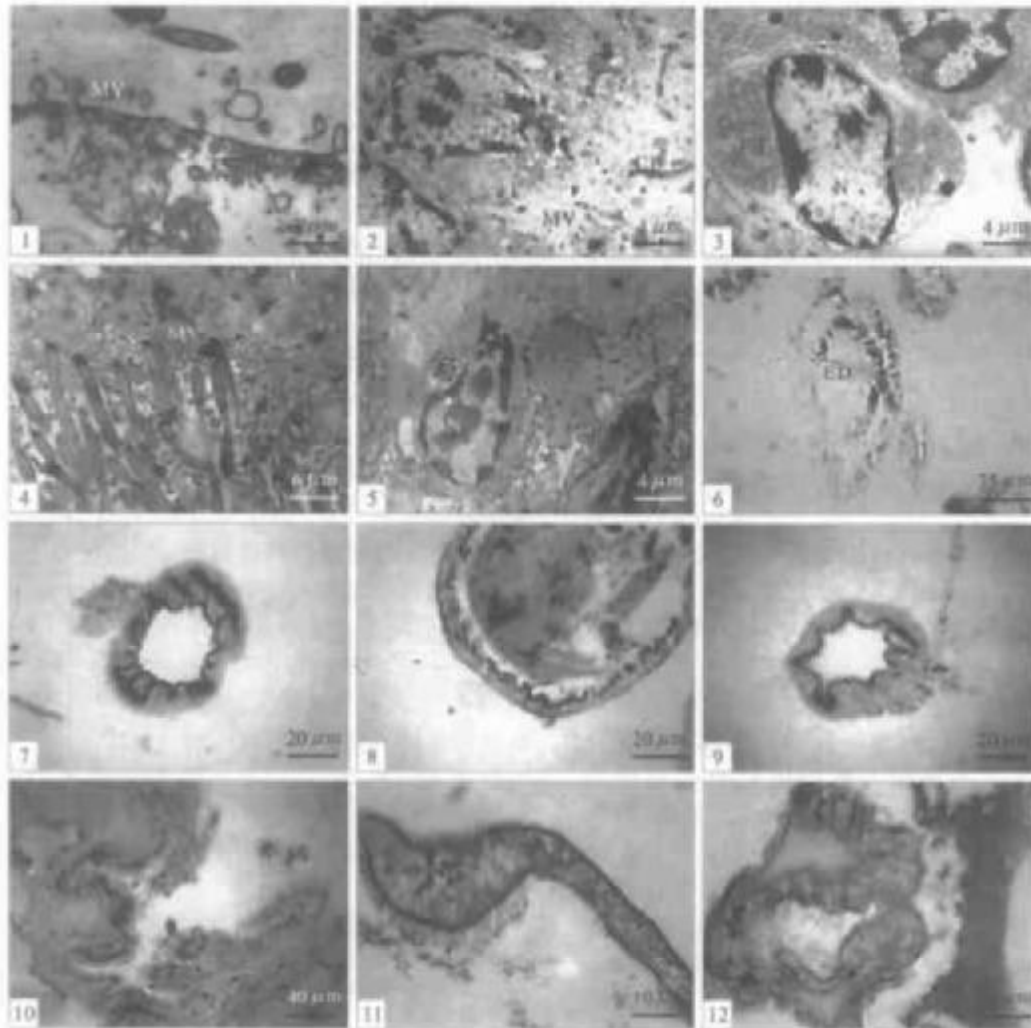
1:囊胚,×150;2:原肠胚,×150;3:早期担轮幼虫,×150;4:晚期担轮幼虫,×200;5:食道(1 cm 蠕虫状幼虫),×400;6:食道(2.5 cm 蠕虫状幼虫),×400;7:咽(4 cm 幼虫),×200;8:嗉囊及砂囊(4 cm 幼虫),×200;9:砂囊(4 cm 幼虫),×400;10:胃(1 cm 蠕虫状幼虫),×400;11:中肠(0.5 cm 蠕虫状幼虫),×400;12:呼吸肠(2.5 cm 蠕虫状幼虫),×400;13:呼吸肠(4 cm 幼虫),×400;14:后肠(1 cm 蠕虫状幼虫),×400;15:后肠(4 cm 幼虫),×200。

Plate II The ontogenesis and development of digestive canal in *Urechis unicinctus* (HE)

1:Blastula,×150;2:Gastrula,×150;3:Early trochophore,×150;4:Late trochophore,×200;5:Esophagus(1 cm worm-shaped larva),×400;6:Esophagus(2.5 cm worm-shaped larva),×400;7:Pharynx(4 cm juvenile),×200;8:Craw and gizzard(4 cm juvenile),×200;9:Gizzard(4 cm juvenile),×200;10:Stomach(1 cm worm-shaped larva),×400;11:Midgut(0.5 cm worm-shaped larva),×400;12:Aspiratory intestine(2.5 cm worm-shaped larva),×400;13:Aspiratory intestine(4 cm juvenile),×400;14:Hindgut(1 cm worm-shaped larva),×400;15:Hindgut(4 cm juvenile),×200。

陈宗涛等:单环刺螎消化道的发生和分化

CHEN Zong-tao et al: Ontogenesis and development of digestive canal in *Urechis unicinctus*



图版Ⅲ 单环刺螎消化道的发生及分化(超微结构及组织化学)

1:担轮幼虫-示表面微绒毛,×10 000;2:担轮幼虫-示微绒毛及纤毛,×4 000;3:担轮幼虫-示成纤维细胞,×4 000;4:胃-示纤毛及微绒毛,×8 000;5:胃-示肌纤维,×4 000;6:担轮幼虫-非特异性酯酶,×150;7:胃-碱性磷酸酶,×200;8:中肠-碱性磷酸酶,×200;9:食道-ATP酶,×200;10:后肠-ATP酶,×200;11:中肠-AB-PAS,×400;12:胃-AB-PAS,×400.

Plate III The ontogenesis and development of digestive canal in *Urechis unicinctus* (ultrastructure and histochemistry)

1: Trochophore - showing microvilli, ×10 000; 2: Trochophore - showing microvilli and cilia, ×4 000; 3: Trochophore - showing fibroblast, ×4 000; 4: Stomach - showing microvilli and cilia, ×8 000; 5: Stomach showing muscle fibre, ×4 000; 6: Trochophore - nonspecific esterase, ×150; 7: Stomach - alkaline phosphatase, ×200; 8: Midgut - alkaline phosphatase, ×200; 9: Esophagus - ATPase, ×200; 10: hindgut - ATPase, ×200; 11: Midgut - AB-PAS, ×400; 12: Stomach - AB-PAS, ×400.