

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.16093

皱纹盘鲍眼部组织的显微及亚显微结构观察

高霄龙^{1, 2, 4}, 张墨¹, 李贤^{1, 5}, 宋昌斌³, 刘鹰^{1, 4, 5}

1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071;
2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院 半导体研究所, 北京 100083;
4. 大连海洋大学, 辽宁 大连 116023;
5. 海洋生态养殖技术国家地方联合工程实验室, 山东 青岛 266071

摘要:采用组织学和电镜的方法, 对皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino)的眼部组织进行了光镜和电镜观察, 以期为进一步从分子生物学角度解析鲍对光照的生理响应机制提供组织学与细胞学基础。结果发现, 眼部组织由外至内依次为视网膜色素上皮细胞层、外核层、光感受器内节、内核层、黑色素颗粒沉积层、视觉纤维层。组织表面布满乳头状突起, 每一乳状突起的顶端均具有一簇或两簇纤毛环。疏松结缔组织和平滑肌纤维等是组织内的主要成分, 结缔组织间分布的胶原纤维等对保持细胞的弹性和韧性具有重要的作用。研究结果显示了鲍的眼部组织在感受和辨识外界光环境因子中的重要作用, 也为鲍养殖生产中的光环境因子优化和调控、深入探讨鲍对光照的生理应答机制提供了形态学依据。

关键词:皱纹盘鲍; 眼部组织; 显微结构; 亚显微结构

中图分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)06-1247-08

皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino)是中国重要的海产经济贝类, Gao 等^[1]研究发现红、橙光下鲍的生长、摄食等均显著优于短波长的蓝、绿光组。且在蓝、绿光下, 皱纹盘鲍表现出明显的逃避行为, 平均爬行速度和翻转直立时间显著快于红、橙光和黑暗环境组^[2]。鲍这种避强光喜黑暗环境的特点说明其对光照强度、明暗环境等具有一定的辨识能力。皱纹盘鲍眼柄位于头部顶端, 平行排布于头触角外侧。鉴于眼部组织在皱纹盘鲍辨识物体、感受光线强弱等功能中的重要作用, 本研究拟通过观察皱纹盘鲍眼部组织结构, 从而解析眼部对光质的辨识能力并分析光照对行为和生长的影响。许燕等^[3]研究了红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)光感受器的形态和超微结构, 认

为其复眼为半球形, 小眼的感光系统由 11 个小网膜细胞组成, 存在两种不同的感光细胞并可能具有不同的生理功能。郭恩棉等^[4]研究了刀额新对虾(*Metapenaeus ensis*)复眼的组织结构, 认为其感杆束存在近端和远端的差别, 小网膜细胞为“4+7”的结构。罗永婷等^[5]研究了糠虾(*Mysis latreille*)的复眼超微结构, 认为其复眼感光系统由 7 个小网膜细胞组成, 晶锥与感杆束相连, 胞质中细胞器种类和数量均较少。盛春等^[6]研究了三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)光感受器的超微结构, 认为其光感受器的结构变化与光照有关, 其中感杆束的面积和结构的变化最为明显。鞘翅目天牛科的松墨天牛(*Monochamus alternatus*)等成虫的每个小眼由 8 个视网膜细胞组成, 日行性和

收稿日期: 2016-03-21; 修订日期: 2016-04-27.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31472312, 41306152, 31402283, 31672673); 国家贝类产业技术体系项目(CARS-48); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2014BAD08B09).

作者简介: 高霄龙, 男, 博士生, 主要从事贝类养殖生态学研究. E-mail: 18354292961@163.com

通信作者: 刘鹰, 男, 教授, 主要从事水产工程学及生态学研究. E-mail: yingliu@dlou.edu.cn

夜行性天牛种类的主要区别在于小眼密度、感杆束占据视网膜细胞的面积比等^[7]。华山松大小蠹(*Dendroctonus armandi*)成虫复眼由角膜、晶锥体、初级色素细胞、小网膜细胞和其特化的视杆、次级色素细胞和基膜构成^[8]。然而, 关于皱纹盘鲍光感受器的相关研究还未见报道。

目前国内一些学者对杂色鲍(*Haliotis diversicolor*)的头触角^[9]、齿舌^[10]、足^[11]以及皱纹盘鲍的鳃^[12]、肾组织^[13]、消化腺^[14]、循环系统和排泄系统^[15]、外套膜^[16]等进行了组织学和显微结构的研究。国外学者 Wanichanon 等^[17]对耳鲍(*Haliotis asinina*)的足裙边触手进行了显微学观察; Kunz 等^[18]则对疣鲍(*Haliotis tuberculata*)的头触角进行了相关的研究。本研究利用光学显微镜、扫描电镜和透射电镜观察皱纹盘鲍眼部组织的显微和亚显微结构特点, 为解析皱纹盘鲍对光照的生理响应机制提供组织学与细胞学基础。

1 材料与方法

1.1 样品采集

实验用皱纹盘鲍, 壳长(55.61±4.29) mm, 体重(28.15±1.79) g, 购买自中国山东省青岛市团岛海产品批发市场。鲍购买回实验室后, 在水族箱内(1 m×0.4 m×0.5 m, 水体容积为 200 L)暂养 1 周。每天上午 10:00 换水 1 次, 换水量为 100%。每天 17:00 投喂新鲜海带(*Laminaria japonica* Aresch)一次, 投喂量按照鲍湿体重的 4%计算。

1.2 样品制备

组织切片样品制备: 用解剖剪将眼柄快速取下后, 放入 10%的中性福尔马林溶液中固定 24 h, 而后进行石蜡包埋, 用 AO 切片机进行常规横纵切片, 切片厚度大约 6 μm, 经苏木精-伊红染色, 中性树胶封片, 显微镜下观察并拍照。

扫描电镜样品制备: 眼柄取下后, 快速放入 0.1 mol/L 的磷酸缓冲溶液漂洗 3 次以去除多余的黏液, 而后放入 2.5%浓度的戊二醛溶液(4℃)前固定 12 h, 然后再用磷酸缓冲溶液漂洗 3 次, 放入 1%的锇酸固定 1 h, 再用磷酸缓冲溶液进行漂

洗, 经梯度酒精溶液脱水后醋酸异戊酯置换, HCP-2 临界点干燥仪干燥, IB-5 离子溅射仪喷金, S-3400N 扫描电镜下观察、拍照。

透射电镜样品制备: 眼柄整体取下后, 将前端部分修剪至 1 mm³ 大小, 立即在 2.5%浓度的戊二醛溶液(4℃)中前固定 12 h, 再放入 1%的锇酸固定 1 h, 后将样品在 0.1 mol/L 的磷酸缓冲溶液中漂洗 3 次, 梯度酒精溶液脱水, Epon 812 环氧树脂包埋、定位, 超薄切片机切片, 厚度大约为 70 nm, 切片经醋酸铀和柠檬酸铅双重染色, 在 H-7000FA 透射电镜下观察、拍照。

2 结果与分析

2.1 光镜观察

光镜下观察, 眼部组织的横切面由外至内依次为视网膜色素上皮细胞层、外核层、光感受器内节、内核层、黑色素颗粒沉积层、视觉纤维层(图 1)。色素上皮细胞构成单层立方上皮, 基底面紧贴细胞膜(图 1-4)。上皮细胞层与外核层间主要为疏松结缔组织, 部分结缔组织细胞核染色较深。视细胞分布在内核层和外核层, 两层间为光感受器内节, 内节紧贴胞体(图 1-2、图 1-3)。黑色素颗粒层内, 细胞质内含大量粗大的黑色素颗粒(图 1-3)。视觉纤维层内主要由浅红色网状神经纤维组成, 神经纤维由外至内逐渐致密(图 1-1)。

2.2 扫描电镜观察

扫描电镜下可见, 鲍的眼部组织前端呈圆柱状并具明显的圆形凹陷, 凹陷内主要为网状纤维结缔组织(图 2-1、图 2-2)。眼柄表面亦由大量网状纤维构成, 其间密布大小不一的空腔(图 2-3)。组织表面并不平整, 均为乳状突起、波浪起伏, 相邻波峰间均为宽度不等的凹陷(图 2-4)。每一乳状突起的顶端均具有一簇或两簇纤毛环, 纤毛呈花瓣状放射性向四周伸展, 其长度大小不一, 2 μm 左右(图 2-5)。同时, 组织表面布满大量的腺细胞开口^[9], 开口大小不均一, 但外观形状基本一致。有的相邻腺细胞开口处隆起成嵴排列紧密, 有的则间距较远, 离散分布(图 2-6)。

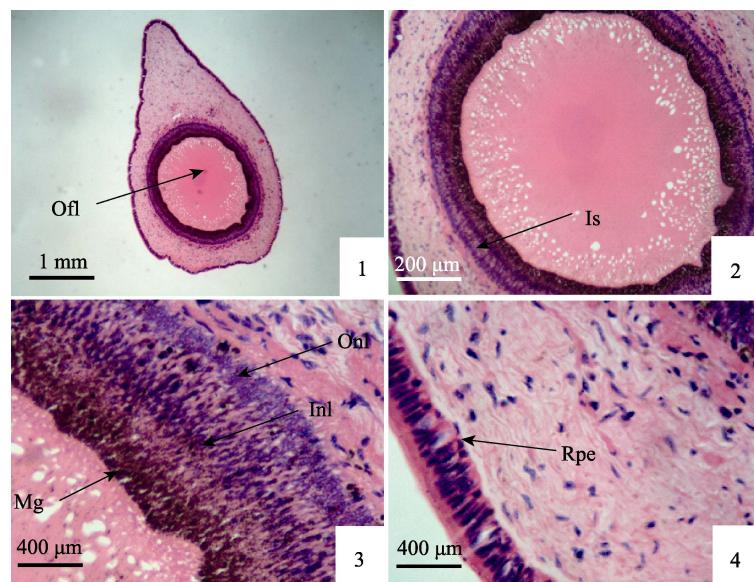


图1 皱纹盘鲍眼部组织学观察(HE)

Inl: 内核层; Is: 光感受器内节; Mg: 黑色素颗粒; Ofi: 视觉纤维层; Onl: 外核层; Rpe: 视网膜色素上皮细胞层.

Fig. 1 Histological observation on eye of *Haliotis discus hannai* (HE)

Inl: inner nuclear layer; Is: inner segment; Mg: melanin granules;
Ofi: optic fibre layer; Onl: outer nuclearlayer; Rpe: retinal pigment epithelium.

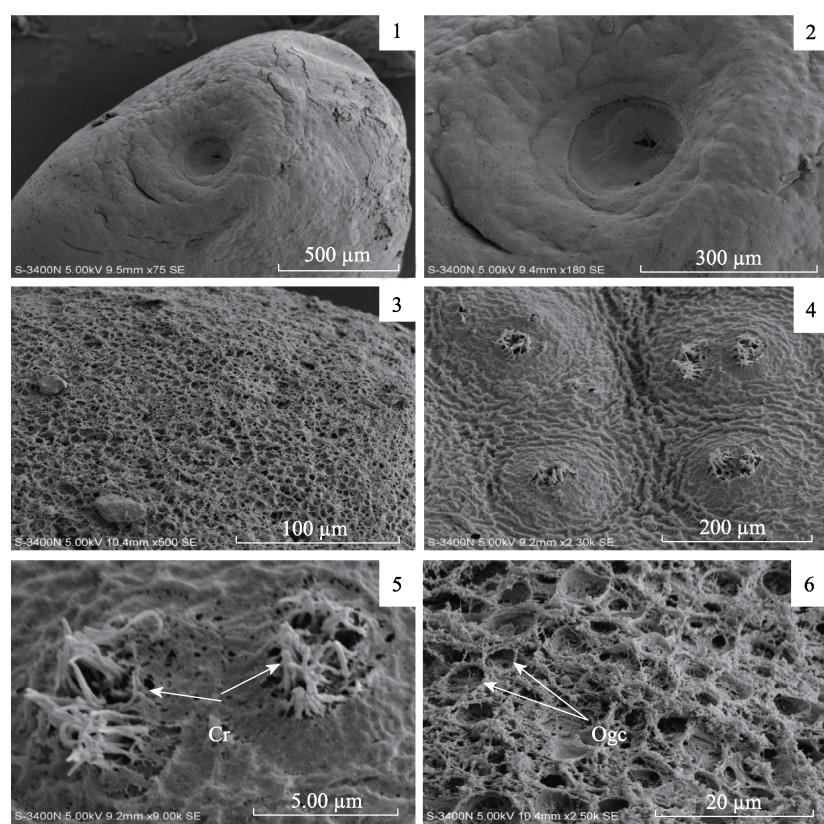


图2 皱纹盘鲍眼部的扫描电镜观察

Cr: 纤毛环; Ogc: 腺细胞开口.

Fig. 2 Scanning electron microscopical observation on eye of *H. discus hannai*

Cr: ciliary ring; Ogc: opening of gland cell.

2.3 透射电镜观察

透射电镜下观察眼部组织发现其中具有大量的胶原纤维, 胶原纤维的韧性大、抗拉力强, 分布在疏松结缔组织间可能对于眼柄的上下移动起到支持作用(图 3-1)。基膜存在于上皮细胞基底面与结缔组织之间, 有利于二者间进行物质交换。相邻细胞间可清晰发现桥粒的存在, 可以限制细胞的膨胀性并将细胞紧密相连(图 3-2)。细胞核形状多种多样, 被双层核被膜紧密包裹, 其中包含常染色

质和少量异染色质(图 3-3)。细胞间还偶见张力丝, 除起到支持作用外, 还有助于保持细胞的弹性和韧性(图 3-4)。肌原纤维广泛分布, 由大量肌丝构成并沿肌原纤维的长轴紧密排列, 彼此不形成任何明显的连接(图 3-5)。支持细胞内还广泛分布线粒体、高尔基体和溶酶体(图 3-6、图 3-7)。溶酶体为单层膜包被的囊状结构(图 3-8), 内含多种水解酶, 具有溶解或消化的功能。粗肌丝在横切面呈现颗粒群状, 神经纤维的轴突末梢含有突触小泡并与

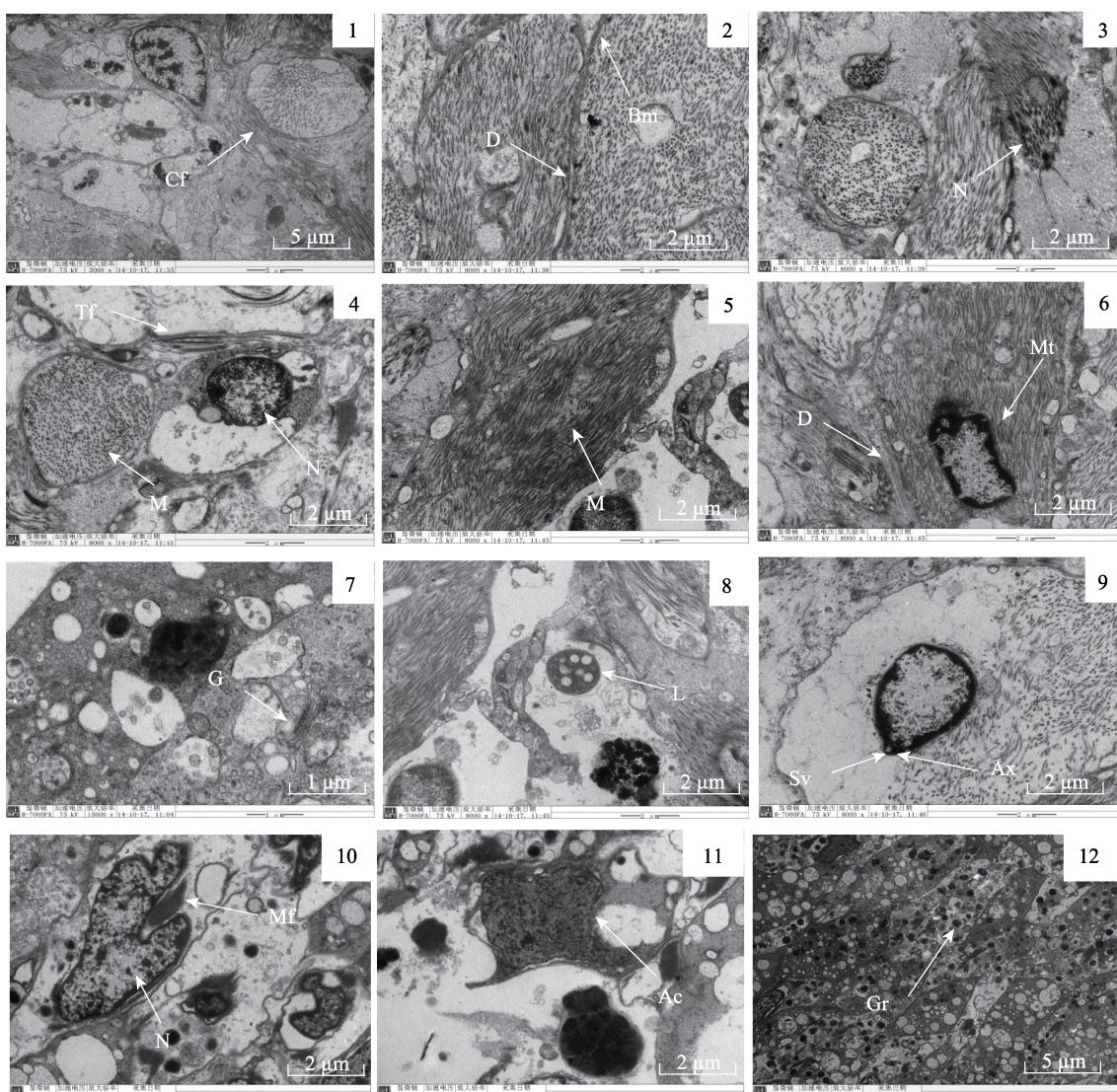


图 3 褶纹盘鲍眼部的透射电镜观察

Ac: 变形细胞; Ax: 轴突; Bm: 基膜; Cf: 胶原纤维; D: 桥粒; G: 高尔基体; Gr: 颗粒; L: 溶酶体; M: 肌丝; Mf: 平滑肌纤维; Mt: 线粒体; N: 细胞核; Sv: 突触小泡; Tf: 张力丝。

Fig. 3 Transmission electron microscopical observation on eye of *H. discus hannai*

Ac: amoebocyte; Ax: axon; Bm: basement membrane; Cf: collagenous fibers; D: desmosome; G: Golgi apparatus; Gr: granule; L: lysosome; M: myofibril; Mf: smooth muscle fiber; Mt: mitochondria; N: nucleus; Sv: synaptic vesicle; Tf: tonofilament.

肌纤维间存在联系(图3-9)。平滑肌细胞内不含肌原纤维,但可见大量密斑和密体。密斑和密体为梭形小体,电子密度较高(图3-10)。变形细胞形状独特,分布在疏松结缔组织间,具伪足和大量高电子密度颗粒(图3-11)。细胞质内密布大量黑色素颗粒,可以防止强光对视细胞的损坏,稳定视网膜内环境(图3-12)。

3 讨论

在皱纹盘鲍眼部的显微和超微结构观察中发现,其支持细胞内除具基本细胞器外,还均具有数量较多的透明空泡。李娜等^[9]在杂色鲍(*H. diversicolor*)头触角的支持细胞内也发现类似的现象,但不确定这些空泡的功能,仅推测支持细胞可能具有分泌功能。Kunz等^[18]在前鳃亚纲原始腹足目蜒螺科的*Smaragdia viridis viridemaris*、蜒螺超科的*Phenacolepas hamillei*和*Aporrhais pespellicani*的支持细胞中也发现了类似的透明空泡,而在前鳃亚纲原始腹足目帽贝超科的*Nacella concinna*和*Tectura testudinalis*的支持细胞内发现了许多与皱纹盘鲍明显不同的小空泡。关于这些空泡的具体功能还有待于进一步研究。

眼部组织是皱纹盘鲍重要的视觉器官,可能在其感知物体存在和辨识光线强弱的过程中发挥重要的作用。李超等^[19]发现铠平鲉(*Sebastes hubbsi*)和花斑平鲉(*Sebastes nigricans*)视柱细胞与视锥细胞的比值(R/C)大于7:1,因此推测铠平鲉和花斑平鲉更适合在夜间活动。郭恩棉^[20]指出,石蟹(*Charybdis japonica*)晶锥由两个晶状体细胞组成,这种结构与罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)、中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)、锯缘青蟹(*Scylla serrata*)等明显不同,而这种独特的形态和结构是石蟹对其自然栖息地环境变化长期适应的结果。皱纹盘鲍眼部外观形态和结构均较为原始,只有单一网状纤维和结缔组织组成,缺少高等动物眼部表层相应的保护、过滤及折射等结构。这可能主要与皱纹盘鲍栖息地的环境特点和其自身的运动、摄食行为有关。浮游生活和滤食性的种类,其复眼通常较为简单,而复眼结构越复杂其感光功能可能也越强^[20]。半滑舌鳎

(*Cynoglossus semilaevis*)感受细胞内核层细胞层数减少且基本上没有分化的水平细胞和双极细胞,说明半滑舌鳎视网膜的光敏感性不高^[21]。视网膜通常存在两种感光细胞:视锥细胞和视杆细胞^[22-23]。视锥细胞视敏度高,可辨色;而视杆细胞对暗光敏感,但分辨能力差,无辨色功能^[24-25]。达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)初孵仔鱼的视锥细胞在36 h出现,视杆细胞在6 d时出现,且随着仔鱼发育外核层细胞核与视锥细胞及神经节细胞数量的比值均不断增大^[26]。墨龙(*Black dragoneye*)视网膜中色素上皮层向杆锥层交错对插,富含神经元的视网膜外核层、内核层厚度降低,可以减少因视网膜面积大而造成的强光伤害^[27]。6日龄时,条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)视网膜分化完全,由色素层、视锥视杆层、外界膜、外核层、外网状层、内核层、内网状层、神经节细胞层、神经纤维层和内界膜组成^[28]。而15日龄时,西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)视杆细胞的数量明显多于单视椎细胞的数量,外核层颜色变深,厚度增加,层内主要为排列紧密的视杆细胞核^[29]。基于鲍昼夜夜出的节律性运动规律可初步判断其视网膜内存在视杆细胞,本研究中未发现视杆细胞的存在,这可能与组织样品的定位有关,是否存在视锥细胞有待进一步研究。同时,在细胞质内有大量的黑色素颗粒存在,这些色素颗粒对于减少外界光线对视网膜的刺激、增加反射和折射、保证视网膜正常的结构和功能等均具有重要的作用^[30-31],也是皱纹盘鲍长期以来对自然环境光照变化适应的结果。

疏松结缔组织是皱纹盘鲍眼部的主要结构之一,细胞种类较多,具有连接、支持和修复等功能。结缔组织内的大量平滑肌纤维多成束分散分布、对保证组织结构的弹性和韧性均有重要作用。胶原纤维也广泛分布在结缔组织间,韧性大、抗拉力强,在波浪、流水等冲击时对保持眼柄形态、减小组织损伤、增强上下移动和收缩的能力等具有重要作用。

参考文献:

- [1] Gao X L, Zhang M, Li X, et al. Effects of LED light quality on the growth, metabolism, and energy budgets of *Haliothis*

- discus discus*[J]. Aquaculture, 2016, 453: 31–39.
- [2] Gao X L, Zhang M, Zheng J M, et al. Effect of LED light quality on the phototaxis and locomotion behavior of *Haliotis discus hannai*[J]. Aqu Res, 2015: 1–14.
- [3] Xu Y, Zhao Y L, Yuan W J, et al. Morphology and ultrastructure of the compound eye in *Cherax quadricarinatus*[J]. Journal of Shanghai Normal University: Natural Sciences, 2005, 34(1): 52–57. [许燕, 赵云龙, 袁维佳, 等. 红螯螯虾光感受器的形态和超微结构[J]. 上海师范大学学报: 自然科学版, 2005, 34(1): 52–57.]
- [4] Guo E M, Shen D X, Wang L. Histological structure of compound eyes in greasy-back shrimp *Metapenaeus sensis*[J]. Fisheries Science, 2013, 32(7): 416–419. [郭恩棉, 申端详, 王琳. 刀额新对虾复眼组织结构的研究[J]. 水产科学, 2013, 32(7): 416–419.]
- [5] Luo Y T, Sheng C, Qian Z Y, et al. Morphology and ultrastructure of the compound eye of *Mysis latreille*[J]. Journal of Shanghai Normal University: Natural Sciences, 2007, 36(3): 80–84. [罗永婷, 盛春, 钱忠英, 等. 糠虾复眼超微结构的观察[J]. 上海师范大学学报: 自然科学版, 2007, 36(3): 80–84.]
- [6] Sheng C, Luo Y T, Zhang J, et al. Ultrastructure changes of the photoreceptor in *Portunus trituberculatus* by diurnal photoperiod[J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(1): 23–28. [盛春, 罗永婷, 章骏, 等. 三疣梭子蟹光感受器超微结构在昼夜光周期中的变化[J]. 水产学报, 2007, 31(1): 23–28.]
- [7] Lü F, Hai X X, Wang Z G, et al. Progress on the Visual Sensory Mechanism of the Longhorn Beetles (*Coleoptera cerambycidae*)[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(9): 134–140. [吕飞, 海小霞, 王志刚, 等. 天牛视觉感受机制研究进展[J]. 林业科学, 2015, 51(9): 134–140.]
- [8] Zhang X Y, Ma J N, Chen H. External morphology and microstructure of compound eyes of adult *Dendroctonus armandi* Tsai et Li (*Coleoptera scolytidae*)[J]. Journal of Northwest A & F University: Natural Sciences, 2015, 43(9): 109–115. [张晓瑜, 马俊宁, 陈辉. 华山松大小蠹成虫复眼的外部形态及显微结构[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2015, 43(9): 109–115.]
- [9] Li N, Shi H R, Li H Y, et al. Microstructure and ultrastructure of the cephalic tentacle of *Haliotis diversicolor*[J]. Acta Zoologica Sinica, 2006, 52(4): 755–764. [李娜, 石和荣, 李海云, 等. 杂色鲍头触角的显微与亚显微结构研究[J]. 动物学报, 2006, 52(4): 755–764.]
- [10] Li N, Liu Q S, Li H Y. Microstructure and ultrastructure of the radula of *Haliotis diversicolor*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(6): 832–838. [李娜, 刘清神, 李海云. 杂色鲍齿舌的显微与亚显微结构[J]. 水生生物学报, 2008, 32(6): 832–838.]
- [11] Li N, Shi H R, Li H Y, et al. Microstructure and ultrastructure of the foot of the variously colored abalone *Haliotis diversicolor*[J]. Acta Zoologica Sinica, 2006, 52(5): 966–970. [李娜, 石和荣, 李海云, 等. 杂色鲍足的显微与超微结构[J]. 动物学报, 2006, 52(5): 966–970.]
- [12] Cui L B, Zhou X Y, Lu Y H. Light and electron microscopic study on the gill of the disk abalone *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(1): 82–87. [崔龙波, 周雪莹, 陆瑶华. 皱纹盘鲍鳃的光镜和电镜研究[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 82–87.]
- [13] Cui L B, Zhou X Y, Liu C L, et al. Histochemistry and ultrastructure of the kidney in disk abalone (*Haliotis discus hannai*)[J]. Acta Zoologica Sinica, 2002, 48(3): 402–407. [崔龙波, 周雪莹, 刘传琳, 等. 皱纹盘鲍肾脏的组织化学和超微结构[J]. 动物学报, 2002, 48(3): 402–407.]
- [14] Li T W, Xu J L, Ding X, et al. Ultrastructure of digestive gland of disk abalone (*Haliotis discus hannai*)[J]. Acta Zoologica Sinica, 2001, 47(5): 583–586. [李太武, 徐继林, 丁新, 等. 皱纹盘鲍消化腺的超微结构[J]. 动物学报, 2001, 47(5): 583–586.]
- [15] Yang W X, Su X R, Li T W, et al. Histological study on circulatory system and excretory system of *Haliotis discus hannai*[J]. Journal of Liaoning Normal University: Natural Sciences, 2006, 29(2): 220–222. [杨文新, 苏秀榕, 李太武, 等. 皱纹盘鲍循环系统和排泄系统的组织学研究[J]. 辽宁师范大学学报: 自然科学版, 2006, 29(2): 220–222.]
- [16] Li X, Liu S F, Wang Q. The histological studies on *Haliotis discus (hannai Ino's)* mantle[J]. Journal of Dalian Fisheries College, 1993, 7(4): 43–48. [李霞, 刘淑范, 王琦. 皱纹盘鲍外套膜的组织学研究[J]. 大连水产学院学报, 1993, 7(4): 43–48.]
- [17] Wanichanon C, Laimek P, Chitchulanon N, et al. Sensory receptors on cephalic and epipodial tentacles of *Haliotis asininae* Linnaeus[J]. J Shellfish Res, 2004, 23: 1097–1106.
- [18] Kunz E, Haszprunar G. Comparative ultrastructure of gastropod cephalic tentacles: Patellogastropoda, Neritaeomorphi and Vetigastropoda[J]. Zoologischer Anzeiger, 2001, 240: 137–165.
- [19] Li C, Wang L, Qin L Z, et al. Comparison study of four species of coral-reef teleosts (Scorpaeniformes) with photoreceptor cells and the angle of minimum resolution[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(3): 400–409. [李超, 王亮, 覃乐政, 等. 4种岩礁性鱼类视网膜感光细胞和最小分辨率角的比较[J]. 水产学报, 2014, 38(3): 400–409.]
- [20] Guo E M. Histological structure of compound eyes in *Charybdis japonica*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(26): 76–80. [郭恩棉. 石蟹光感受器组织结构的

- 研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(26): 76–80.]
- [21] Ma A J, Wang X A, Zhuang Z M, et al. Structure of retina and visual characteristics of the half-smooth tongue-sole *Cynoglossus semilaevis* Günter[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53(2): 354–363. [马爱军, 王新安, 庄志猛, 等. 半滑舌鳎仔、稚鱼视网膜结构与视觉特性[J]. 动物学报, 2007, 53(2): 354–363.]
- [22] Guo Y L, Guo Y Y, Wu Y Q, et al. Advances on response and perception mechanisms of insects to polarized light[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55(2): 226–232. [蒋月丽, 郭予元, 武予清, 等. 昆虫对偏振光的响应及感受机理研究进展[J]. 昆虫学报, 2012, 55(2): 226–232.]
- [23] Leng X, Na J. Structure and function of insect compound eyes[J]. *Journal of Shenyang Normal University: Natural Science*, 2009, 27(2): 241–244. [冷雪, 那杰. 昆虫的复眼结构和功能[J]. 沈阳师范大学学报: 自然科学版, 2009, 27(2): 241–244.]
- [24] Zhang Z F, Liao C Y, Liu X Y, et al. Ultrastructure of compound eye in the larval stages of *Penaeus chinensis*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1999, 23(3): 217–222. [张志峰, 廖承义, 刘晓云, 等. 中国对虾幼体复眼的超微结构[J]. 水产学报, 1999, 23(3): 217–222.]
- [25] Chai M J, Lin S J. The spectral sensitivity of receptor system in the compound eye of *Penaeus penicillatus*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1990, 21(2): 160–165. [柴敏娟, 林淑君. 长毛对虾复眼感受系统的光谱特性[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(2): 160–165.]
- [26] Shi L L, Wei Q W, Chai Y, et al. Retina development and correlated function during Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*) ontogeny[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(5): 958–967. [史玲玲, 危起伟, 柴毅, 等. 达氏鲟视网膜早期发育及其相关机能[J]. 中国水产科学, 2013, 20(5): 958–967.]
- [27] Wan A, An S Q, Hua T M. A neuroanatomical study of the black dragoneye's retina and optic tectum in comparison with the red crucian's[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(1): 100–105. [万安, 安树青, 华田苗. 墨龙与红卿的视网膜和视盖解剖结构比较[J]. 水生生物学报, 2013, 37(1): 100–105.]
- [28] He T, Xiao Z Z, Liu Q H, et al. Histological observation of eye ontogeny in rock bream larvae (*Oplegnathus fasciatus*)[J]. *Marine Sciences*, 2012, 36(3): 49–53. [何滔, 肖忠志, 刘清华, 等. 条石鲷视觉器官早期发育的组织学观察[J]. 海洋科学, 2012, 36(3): 49–53.]
- [29] Song W, Song J K. Observations on morphology of post-embryonic development and histology of sensory organs in larval and juvenile Siberian sturgeon, *Acipenser baerii*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(5): 790–798. [宋炜, 宋佳坤. 西伯利亚鲟仔稚鱼胚后发育的形态学和组织学观察[J]. 中国水产科学, 2012, 19(5): 790–798.]
- [30] Zhang H Q, Zhu N, Fan F, et al. External morphology and microstructure of the compound eye of *Chrysopa pallens* Rambur (Neuroptera: Chrysopidae)[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50(5): 454–460. [张海强, 朱楠, 范凡, 等. 大草蛉成虫复眼的外部形态及其显微结构[J]. 昆虫学报, 2007, 50(5): 454–460.]
- [31] Liu C W, Yu J, Wang Z D, et al. Progress on fish opsin research[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2015, 46(6): 1564–1570. [刘楚吾, 余娟, 王中铎, 等. 鱼类视蛋白的研究进展[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(6): 1564–1570.]

Light and electron microscopic study of the eye of *Haliotis discus hannai* Ino

GAO Xiaolong^{1,2,4}, ZHANG Mo¹, LI Xian^{1,5}, SONG Changbin³, LIU Ying^{1,4,5}

1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China;

4. Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

5. National & Local Joint Engineering Laboratory of Ecological Mariculture, Qingdao 266071, China

Abstract: Light is a key environmental factor that influences the growth, culture and survival of aquatic organisms. In the present study, the eye tissues of *Haliotis discus hannai* Ino were observed under the light microscope, scanning electron microscope and transmission electron microscope to provide an enhanced histological and cytological basis for analysis of the physiological response mechanism of abalone to light from the perspective of molecular biology. Findings show that the eye tissues, from the outside to the inside, are: retinal pigment epithelium, outer nuclear layer, inner segment, inner nuclear layer, melanin granules sediment and optical fiber layer. Connective tissue mainly exists between the epithelium and the outer nuclear layer, and a portion of the connective tissue nucleus is a darker color. The optical fiber layer mainly comprises the light red reticular nerve fibers which gradually become dense from the outside to the inside. The front ends of eye tissues are cylinder-shaped with an obvious circular depression, in which the reticular nerve fibers are mostly found. The surface of the eyestalk comprises a large number of reticular fibers where the cavities of various sizes are densely distributed. The surfaces of eye tissues are covered with papillae and the top of every papilla has one or two clusters of ciliary rings. The existence of desmosomes between adjacent cells can be clearly seen, and these can limit the expansion of cells and closely link them. Nuclei are found in various shapes and the double-layer nucleus is tightly enveloped by the cell membrane, which contains euchromatin and a few heterochromatin. Myofibrils are widely distributed and are composed of a large number of myofilaments closely arranged along the myofibrils; however, no obvious connection is formed between them. Loose connective tissue, smooth muscle fiber and others are main components in the tissues. Collagenous and other types of fibers distributed between the connective tissues play a key role in maintaining the flexibility and toughness of cells. Mitochondria, Golgi apparatus and lysosomes are also widely distributed in supporting cells. Amoebocytes are uniquely shaped and distributed between the loose connective tissues with pseudopodia and a large number of high electron density particles. Many melanin granules are densely distributed in the cytoplasm; these can prevent strong light from damaging the optical cells, and they also stabilize the internal environment of the retina. Findings demonstrate the significant role played by the optical tissues of the abalone in sensing and identifying external light environmental factors. They also provide a morphological basis for the optimization and regulation of light environmental factors in aquaculture production, as well as an in-depth discussion of the abalone's physiological response mechanism to light.

Key words: *Haliotis discus hannai* Ino; eye; microstructure; ultrastructure

Corresponding author: LIU Ying. E-mail: yingliu@dlou.edu.cn