

• 综述 •
64-715963.14
Q55

国内外关于水产动物消化酶研究的概况

杨蕙萍* 童圣英[✓] 王子臣
(大连水产学院养殖系)

摘要 作者根据国内外近期发表的53篇论文综述了鱼类、甲壳类、棘皮动物以及软体动物消化酶研究的状况,讨论了这些水生动物的消化酶活力与食性、食物组成、环境条件、个体发育的不同阶段等因素的关系。研究消化酶不仅可为水产养殖业中优化人工饵料问题提供依据,而且作为工具酶在生物工程技术上有很大的利用价值。

关键词 消化酶; 水产动物; 人工饵料; 概况 消化酶
中图分类号 Q55

酶是催化生物化学反应的一类特殊的蛋白质,生物体中的化学反应很少是在没有催化剂的情况下进行的。酶的突出特征是它们的高度催化能力和专一性。而且酶的活性可以被调节,与不同能量形式的转化密切相关。总之,酶在生物体内起着非常独特和关键的作用。

人类认识酶的历史可以追溯到1897年,当时E. Buchener成功地从酵母细胞中提取出能催化酒精发酵的酶类^[1],这便成为酶学史上一个划时代的重大历史事件,因为这一发现首先论证了在主要放能代谢途径中,起催化作用的主要酶类可以不依赖于细胞的结构而起作用。而在此以前,人们一直认为酶类与细胞的结构和生命是不可分割地联系在一起的。1926年,Summer从刀豆提取液中分离出了脲酶结晶,提出了酶是蛋白质的证据,但在当时却未被接受。直到1936年,Northrop提炼了胃蛋白酶、胰蛋白酶和糜蛋白酶的结晶,酶是蛋白质的观点才被牢固地建立起来。近几十年酶学的发展很快,到现在已知的有近2000种酶类,而且对其在细胞代谢活动中的作用等方面作了详尽的鉴定和描述,但酶学覆盖的范围很广,仍有很多的未知领域有待探索,所以酶学的发展很有前途。

消化酶是酶的一种,具有酶的所有特征,主要是消化腺和消化系统分泌的营消化作用的酶类。在消化酶中,又依消化对象的不同而大致可划分为蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶和纤维素酶等几种。关于水产动物消化酶的研究,国内外很早就有报道,从种类上来看,以鱼类、甲壳类和棘皮动物等的研究较多。

收稿日期:1997-10-26

* 杨蕙萍,1966年生,女,博士后,现工作单位:中国科学院海洋研究所开放实验室,青岛市南海路七号,266071

1 关于鱼类消化酶的研究

1.1 鱼类食性和消化酶的关系

动物的食性因种类不同而异,即使是同一种类,在不同的环境条件和不同的发育阶段也不尽相同,但动物的食性总是和其本身的消化酶组成状况密切相关。黄耀桐等^[2]研究了草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)肠道和肝胰脏蛋白酶活性与饲料的关系,Hofer等^[3]研究了6种鲤科鱼类和2种丽科鱼类食性与消化酶的关系,Agrawal^[4]比较了肉食性、杂食性、草食性鱼类的淀粉酶和脂肪酶的活性差异,肉食性鱼类含有较高的脂肪酶,而草食性鱼类则含有较高的淀粉酶,这与食物本身的组成成分相对应。Prejs等^[5]研究了多种鱼的食性与其纤维素酶活性的关系,Kawai等^[6]对草鱼在不同食物饲喂下其肠道内麦芽糖酶、淀粉酶和蛋白酶的变化予以测定和分析,Kenji等^[7]还研究了鳗鱼(*Anguilla anguilla*)食物添加剂对其消化酶的影响,结果表明,饵料中的添加剂增进了鳗的摄食能力,而且促进了其消化和吸收。所有这些研究大都得出了一个共同的结论,即有什么样的食性就有什么样的消化酶组成状况,而且消化酶活力大小的变化程度与食物组分的大小变化程度也有一定的相关性,这也是生物本身的一种适应。

1.2 季节变化与消化酶的关系

环境条件的变化对生物的生理生化都有很大的影响,动物体随季节的变化其消化酶的活力和组成也有一定的变化,Hofer等^[3]研究了拟鲤(*Rutilus rutilus*)、红眼鱼(*Scardinius erythrophthalmus*)的蛋白酶、淀粉酶和纤维素酶的季节变化。季节的变化表现在不同的环境温度和不同的天然饵料组成,由于酶本身的蛋白质属性,温度对消化酶的影响最为直接和巨大。动物消化酶活力的高低又直接影响了动物对营养物质吸收利用的程度,因而鱼类在不同的季节会有不同的生长速度。

1.3 鱼类消化酶酶促反应与酶动力学等方面的研究

酶的蛋白质本性决定了温度和pH值是酶促反应的两个重要影响因素。Vys等^[9]研究了鲇鱼(*Silurus asotus*)不同组织器官内消化酶的最适pH值和最适温度,Bitterlich^[10]研究了鳙鱼(*Aristichthys nobilis*)和鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)消化酶酶促反应的最适pH值问题,倪寿文等^[11]研究过鲤、草、鲢、鳙、尼罗非鲫(*Cromeria nilotica*)的肠和肝胰脏的蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶活性及其最适pH值,吴永沛等^[12]研究了真鲷(*Pagrosomus major*)肝胰脏蛋白酶的pH值和温度,同时分析了不同pH条件下几种金属盐对酶活性的影响,桂远明等^[13]比较研究了温度对草、鲤、鲢、鳙主要消化酶活性的影响。所有这些对温度和pH值影响的研究都可归结为:不同生物种类,不同的组织器官以及不同的酶类具有不同的最适pH和最适温度,同时最适pH和最适温度随不同的反应条件而有所不同。最适pH值和最适温度与生物本身消化道pH值及生活温度常常不一致甚至有极大的差别,消化酶起作用时的最适pH值不仅取决于酶活性中心的性质,且与底物和介质等有关。一般来说,生物消化道内的pH值条件能够极大的满足其不同种消化酶活力的表现。最适温度的测定是在实验规定的反应时间条件下进行的,实际

上生物体内酶起作用的时间会长得多,所以最适温度只是在一定条件下才有意义,但在一定程度上反映消化酶的耐热性,通过由此计算而来的活化能的大小可用来比较不同种酶活力的大小。

1.4 天然饵料中的消化酶及外源消化酶在鱼类消化过程中的作用

饵料生物随着被食用进入鱼体后其本身所具有的消化酶仍起着很大的作用。Lauff^[14]对三种鱼——白鲑属(*Coregonus*)、鲑属(*Salmo*)和拟鲤进行了研究,指出饵料本身消化酶对维持鱼体孵化后生长的重要性。Das^[15]在研究草鱼消化酶过程中,发现了外源性纤维素酶以及细菌产生的纤维素酶,并阐述了其作用。还发现草鱼消化酶的形式和活力依赖于其摄取的饵料种类,并建议人工饵料中需加入动物蛋白以适应草鱼中存在的较高蛋白酶和淀粉酶。还有 Dabrowski 等^[16,17]也对鱼类的外源性蛋白酶进行了分析研究,阐明了其存在的重要性。

1.5 胚后发育阶段消化酶的发生和演变

有关消化酶发生的研究不论在理论上还是在生产实践上均有相当重要的意义。鱼类各阶段酶活力的出现与变化有助于了解各期幼体如何利用饵料,以及需要什么样的营养成分。Kawai 等^[18]研究了虹鳟(*Salmo gairdneri*)、鲤和黑鲈(*Micropterus* sp.)消化酶的发生和演变,表明幼体期存在消化酶种类的变化。Lauff 等^[14]研究了杂交鲑、硬头鲑和拟鲤三种鱼蛋白水解酶的发生和演变,Hofer 等^[19]又研究了拟鲤胰蛋白酶、淀粉酶在各发育阶段的变化,结果表明,随着肠道的发育完善,消化酶的种类和活力大小发生了变化。在仔稚鱼期,人工饵料的投喂致使胰蛋白酶大幅度增加,同时也导致仔稚鱼的低生长率和最终的死亡。井健二等^[20]研究了真鲷从孵化后到仔稚鱼发育过程中消化酶的发生和演变。总之,各种消化酶的发生并不是完全同步的,而是随着鱼体的生长发育逐步演变和完善。

1.6 消化酶在生物体内的分布状况的研究

Shinichi 等^[21]分别对草鱼、莫桑比克鱼(*Tilapia mossambica*)和 bluegill 应用淀粉底物条带法确定各消化器官中淀粉酶存在的位置,Kawai 等^[18]也曾对草鱼、真鲷、香鱼(*Lecoglossus altivelis*)的各种碳水化合物酶在各个消化器官中的分布进行了研究。通过这种研究可以更清楚地了解鱼体是在何部位利用食物中相应成分的。同时这种方法也为研究消化酶的分泌、贮存机制提供途径。

2 关于甲壳类消化酶的研究

2.1 消化酶种类及其性质、活力大小的研究

于书坤^[22]研究了中国对虾(*Penaeus orientalis*)消化酶的活力及性质,并且分析了抑制剂、激活剂、温度和 pH 值等几种因子对消化酶的影响,Paul^[23]研究了日本对虾(*Penaeus japonicus*)淀粉酶和蛋白酶的性质,同时分析了多种金属离子和化学物质对这些酶

活力的影响,浅原允雄^[24]对鹰爪虾(*Trachypenaeus curvirostris*)的肝脏蛋白酶进行了分析测定,同时测定了金属离子的影响,Brocherhoff^[25]对美国龙虾(*Homarus americanus*)的各种消化酶进行了很详尽的分析和报道。

2.2 个体发育不同阶段酶活力的变化

Patricia等^[26,27]对美国龙虾早期发育过程中前肠腺至中肠腺各组织器官的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶做了分析,在龙虾的五个幼虫阶段以及卵孵化中的几个时期分别予以测定,阐明了这三种消化酶在各个阶段的发生和变化。胚胎时期这三种酶均很少,孵化过程中则稍有上升,幼体阶段各种酶又有着不同的变化趋势。除龙虾外,Lovett^[28]对白对虾(*Penaeus setiferus*)个体发育过程中的消化酶变化情况也进行了测定,还有国内的刘玉梅等^[29,30]先后对中国对虾消化酶进行了两次研究,测定了稚虾期、生长中期、收获期三个阶段的肝、胃、肠中存在的酶活力,又将稚虾期按蚤状幼体、糠虾幼体和仔虾三个时期分析其食性转化、消化酶的转变以及每个时期其消化酶的组成,从而在更深的层次上丰富了这项工作,同时也为各发育阶段合理安排饵料各成分含量提供了可靠的理论依据。

2.3 饵料因素对消化酶活力的影响

Paul等^[25]和浅原允雄^[24]分析了金属离子对日本对虾和鹰爪虾消化酶的影响。许实荣^[31]分析了维生素B对中国对虾消化酶的影响,结果表明,投喂添加V_B的饵料时,对虾肝胰脏淀粉酶的比活力是对照组的1.7倍,其类胰蛋白水解酶随V_B的增加而升高,从而阐明了V_B在对虾体内碳水化合物代谢和蛋白质代谢中所起的重要作用。Lee等^[32]研究了食物和个体大小对海产白对虾消化酶的影响,得出了消化酶活力最高时的食物组成成分比,Maule^[33]则专门针对一种食物即短颈蛤(*Short-neck clam*)对对虾类生长和消化酶的作用进行研究,结果表明只有短颈蛤鲜活投喂时才会对消化酶有影响。分析饵料对消化酶活力的影响,不仅可以作为饵料各营养成分消化吸收和利用的重要指标,且对人工饵料的合理配制意义重大。

甲壳类中除虾类外,关于桡足类和卤虫等浮游动物的消化酶研究也不少,涉及的方面有:

(1)消化酶的影响因子 Hasset^[34]研究了饵料和饥饿对太平洋哲水蚤(*Calanus pacificus*)酶活力和摄食行为的影响,总结出了饥饿两周左右时酶活力锐减,之后他又研究了季节变化的影响^[35]。Harris^[36]研究了藻类饵料对海岛哲水蚤(*Calanus helgolandicus*)消化酶活力的影响。Rosario等^[37]研究了卤虫发育过程中几种水解酶的活力,发现当卵黄降解开始时的无节幼体中这些酶的活力最高;Begona等^[38]对卤虫的类胰蛋白酶进行了分析,找出了其存在的位置。

(2)消化酶在几个方面的应用 Oosterhuis^[39]将桡足类的消化酶作为其摄食能力的一种指标来进行研究,结果表明两者之间并不具有一致性。Bears等^[40,41]则通过桡足类的消化酶和肠道荧光物等来作为反映其每天摄食节律的指标,从而分析浮游植物与浮游动物之间的关系。

3 棘皮动物消化酶的研究

棘皮动物中的海胆一直是用来研究受精和胚胎发育的好材料,也正因为这一点,关于海胆与其相关的研究进行的也较多,而且开始得较早。近年来海胆作为水产增养殖中的一大经济种类更是愈来愈受到重视。关于海胆消化酶的研究也是结合其生长发育进行的,如 Victor 等^[42]研究了海胆(*Dendraster excentricus*) α -淀粉酶的活性,指出它随着海胆长腕幼体的肠分化过程而出现,并且与 β -1、3-葡聚糖酶同步增加,这种 α -淀粉酶还兼有麦芽糖酶的作用,同时还证明了海胆幼体阶段的 α -淀粉酶和海胆成体的 α -淀粉酶具有不同的最适 pH 值范围,进而判断这两种酶是不同的两种蛋白质。同年,Victor 等^[43]还对海胆长腕幼体肠分化阶段 β -1、3-葡聚糖酶的发生和活力大小进行了探讨和测定。

4 软体动物消化酶的研究

早在本世纪初就有关于软体动物消化酶的报道,如 1900 年 Coupin 从鸟蛤(*Cardilia* sp.)的晶杆中发现了消化酶。之后便是 Mita、Van、Oakin、Younge 等人先后从背角无齿蚌(*Anodonta woodiana*)、贻贝、扇贝、沙海螂、鲍、铰石鳖(*Lischnochicon* sp.)和柔鱼(*Ommastrephes* sp.)等种类的某些消化器官中分析出了消化酶^[44]。研究最多且最为详细的就是牡蛎,这和牡蛎悠久的养殖历史有关,对花缘牡蛎(*Ostrea* sp.)和食用牡蛎(*Ostrea edulis*)的晶杆进行分析,得知其中约含有四种酶类;对其消化盲囊中的消化酶进行研究,得知其中的酶类大致分为三类,即碳水化合物分解酶、脂肪分解酶和蛋白分解酶;甚至针对其消化器官中存在的吞噬细胞(一种变形细胞)中的消化酶也进行了研究。所有这些均是一种确定种类的分析,没有进一步对其性质等进行分析。

近年来随着水产养殖业的大力发展,又相继有不少学者对不同的软体动物进行了研究,如刘万顺等^[45]研究了紫贻贝(*Mytilus edulis*)和滨螺(*Littorina brevicula*)的消化酶活性大小,朱仁华^[46]对三种海产螺类即朝鲜花冠小月螺(*Lunella coronata*)、单齿螺(*Monodonta labio*)和疣敌荔枝螺(*Thais clavigera*)进行了研究,小玉修嗣等^[47]对柔鱼(*Todarodes pacificus*)的胰凝乳蛋白酶进行了研究。

就目前对软体动物的消化酶类的研究状况来说,单纯针对消化酶及其各方面特性的研究并不是太多,而大多数则集中在对软体动物消化酶的利用上,且主要的用途范围又集中在对海藻细胞壁的解壁作用^[46-48~51],从而得到其原生质体,利用原生质体培养植株或是进行杂交等,在生物工程技术上有极大的利用价值。目前已做过研究的藻类很多,如绿藻中的孔石莼(*Ulva pertusa*)、肠浒苔(*Enteromorpha intestinalis*)、长石莼(*Ulva lactuca*)、袋藻膜(*Monostroma angicava*),且已再生成植株;红藻中有园紫菜(*Porphyra suborbiculata*)、穿孔紫菜(*Porphyru dentata*)、条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)和坛紫菜(*Porphora haitanensis*),而且也都获得了完整的植株;褐藻中有海带(*Laminaria japonica*)和裙带菜(*Underia pinnatifida*)等,已经成功地制备成了原生质体。另外,在微藻去细胞壁上也得以应用,如刘万顺等^[45]对小球藻(*Chlorella vulgaris*)的实验。当然,除了在藻类细胞壁解壁作用方面的应用之外,还在鱼卵的细胞壁去除以及啤酒酵母原生质体制备方面得以利用,且取得了较好的效果。综观软体动物消化酶目前的这些应用,预

计在今后作为工具酶还会有更广泛的前途。

笔者曾于1993年针对皱纹盘鲍的蛋白酶^[52]、淀粉酶和褐藻酸酶的最适温度和最适pH进行了测定,结果表明,在皱纹盘鲍消化盲囊中存在胃蛋白酶且活性较高,三种酶活力大小顺序为褐藻酸酶>淀粉酶>蛋白酶;同时又测定了十种金属离子对这三种酶的影响,表明 Ag^+ 、 Hg^{2+} 和 Cu^{2+} 对酶活性有极大的抑制,而 Ca^{2+} 、 Mn^{2+} 和 Fe^{3+} 则对其活性有促进作用。

总之,对于软体动物消化酶的研究集中在两大方面:一为定性分析某组织器官中某些酶类的存在,以此来阐明与消化生理的关系;二为将消化酶作为工具酶的多方面应用。

5 关于轮虫的消化酶

Kenji等^[53]就一种臂尾轮虫的碱性蛋白酶的某些特性予以探讨,测定了其最适的pH值范围,并测定了几种抑制剂的抑制作用以及酶本身在不同pH值下的定性。

综上所述,有关水产动物消化酶的研究已取得了不少成绩。近来随着水产养殖业的发展,水产动物消化酶的研究日益受到人们的重视。通过对这些问题的研究,可以优化水产养殖业中的饵料问题,如消化能力的大小、饵料需求及配比、消化酶对饵料的适应等,人工饵料的优化会给水产养殖业开创一个完全崭新的局面,这也是消化酶研究的实践意义所在。

当然,水产动物消化酶的研究仍有很大的空白,如消化酶的种类分析、分泌、贮存机制,对饵料的适应程度,活力的变化因素等,鉴于这种现状,相信有关消化酶研究的前景还是相当广阔的。

参 考 文 献

- 1 伦宁格 A L. 生物化学. 北京:科学出版社,1990
- 2 黄耀桐,刘永坚. 草鱼肠道肝胰脏蛋白酶活性的初步研究. 水生生物学报,1988, 12(4):328~333
- 3 Hofer R, Schiemer F. Proteolytic activity in the digestive tract of several species of fish with different feeding habits. Oecologia, 1981, 48:342~345
- 4 Agrawal V P. Digestive enzymes of three teleost fishes. Acta Physiol Hung, 1975, 46:93~98
- 5 Prejs A, Blaszczyk M. Relationship between food and cellulase activity in freshwater fishes. J Fish Biol, 1977, 11: 447~452.
- 6 Kawai S, Ikeda S. Effects of dietary changes on the activities of digestive enzymes in carp intestine. Bull Japan Soc Science Fish, 1972, 38(3): 265~269
- 7 Kenji Takil, Sadao Shimeno. The effect of feeding stimulant in diet on digestive enzyme activities of eel. Bull Japan Soc Science Fish, 1986, 52(8):1449~1454
- 8 Hofer R. The adaptation of digestive enzymes to temperature, seasons and diet in roach, *Rutilus rutilus* and Rudd *Scardinius erythrophthalmus* I; Amylase. J Fish Biol, 1978,14:565~572. I; Protease. J Fish Biol, 1979, 15: 373~379
- 9 Vys W, Hecht T. Assays on the digestive enzymes of sharp tooth catfish, *Clarias gariepinus* (Pisces: clariidae). Aquaculture, 1987, 63: 301~313.
- 10 Bitterlich G. Digestive enzyme pattern of two stomachless filter feeders silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* Val. and bighead carp, *Aristichthys nobilis*. J Fish Bio, 1987, 27: 103~112

- 11 倪寿文,桂远明,刘焕亮.
a: 草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗非鲫脂肪酶活性的比较研究. 大连水产学院学报, 1990, 5(3,4): 19~24
b: 草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗非鲫淀粉酶活性的比较研究. 大连水产学院学报, 1992, 7(1): 24~31
- 12 吴永沛,郭彩华. 真鲷肝脏蛋白酶的活性. 厦门水产学院学报, 1992, 14(2): 13~17
- 13 桂远明,吴垠. 温度对草鱼、鲤、鲢、鳙主要消化酶活性的影响. 大连水产学院学报, 1993, 8(4): 1~8
- 14 Lauff M, Hofer R. Proteolytic enzymes in fish development and the importance of dietary enzymes. *Aquaculture*, 1984, 37: 335~346
- 15 Das K M. Studies on the digestive enzyme of grass carp. *Aquaculture*, 1991, 92: 21~32
- 16 Dabrowski K, Glogowski J. Studies on the proteolytic enzymes of invertebrates constituting fish food. *Hydrobiologia*, 1977, 52: 171~174
- 17 Dabrowski K, Glogowski J. Studies on the role of exogenous proteolytic enzymes in digestion processes in fish. *Hydrobiologia*, 1979, 54: 129~134
- 18 Kawai S, Ikada S. Studies on digestive enzymes of fishes II: Development of digestive enzymes of rainbow trout after hatching and effects of dietary change on the activities of digestive enzymes in the juvenile stage. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 1973, 39: 819~823; IV: Development of the digestive enzymes of carp and black sea bream after hatching. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 1973, 39: 877~881
- 19 Hofer R, Nasir Uddin A. Digestive processes during development of the roach. *J Fish Biol*, 1985, 26: 683~693
- 20 井健二,中村元二. ふ化后におけるマダイ稚仔魚の各種酵素活性の変化. 水产増殖, 1992, 40(3): 291~296
- 21 Shimichi Yamane.
a: Localization of amylase activity in digestive organs of carp determined by a substrate film method. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 1973, 39(5): 497~504
b: Localization of amylase activity in digestive organs of mozambique mouth brooder and bluegill determined by a starch substrate film method. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 1973, 39(6): 595~603
- 22 于书坤. 中国对虾消化酶的研究 I: 消化酶的活力测定及性质的研究. 海洋科学集刊, 第 28 集, 1987, 85~90
- 23 Paul D M, Osamu D. Characteristics of amylases and protease of the shrimp *Penaeus Japonicus*. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 1982, 48(12): 1153~1157
- 24 浅原允雄. サルエビ肝臓中蛋白分解酵素について. 日本水产学会志, 1973, 39(9): 987~991
- 25 Brocherhoff H, Hoyle R J. Digestive enzymes of the american lobster. *J Fish Res Board of Canada*, 1970, 27(8): 1357~1370
- 26 Patricia M B, Judith M C. Changes in digestive enzymes activities during early development of american lobster. *J Exp Mar Bio Eco*, 1990, 136: 107~122
- 27 Patricia M B, Judith M C. Digestive protease, lipase and amylase activities in stage I larvae of the american lobster. *Comp Biochem Physiology*, 1990, 95A(1): 47~54
- 28 Lovett D L. Ontogenetic change in digestive enzyme activity of larval and post-larval white shrimp *Penaeus setiferus*. *Biol Bull Mar Biol Lab Woods Hole*, 1990, 178(2): 144~159
- 29 刘玉梅,朱谨判. 对虾消化酶的研究. 海洋科学, 1984(5): 46~50
- 30 刘玉梅,朱谨判,吴厚余. 中国对虾幼体和仔虾消化酶活力及氨基酸组成的研究. 海洋与湖泊, 1990, 22(6): 571~575
- 31 许实荣等. 维生素 B₁ 和 B₆ 对中国对虾消化酶的影响. 海洋科学, 1987(4): 34~37
- 32 Lee P G, Lawrence A L. Effects of diet and size on growth, food digestibility and digestive enzyme activities of marine shrimp *Panaeus stiferus* linnaeus. *J World Maricult Soc*, 1986, 16: 275~287
- 33 Maugle P D. Effects of short-necked clam diets on shrimp growth and digestive enzyme activities. *Bull Japan Soc Sci Fish*, 1982, 48(12): 1759~1764
- 34 Hassett R P. Effects of diet and starvation on digestive enzyme activity and feeding behavior of the marine copepod *Calanus pacificus*. *Plankton Res*, 1990, 12(5): 991~1010

- 35 Hassett R P. Seasonal changes in feeding rate, digestive enzyme activities and assimilation efficiency of *Calanus pacificus*. Mar Eco Pro Ser, 1990, 62(3):203~210
- 36 Harris R P. Effects of alga diet on digestive enzyme activity in *Calanus helgolandicus*. Mar Biol, 1986, 90(3):353~361
- 37 Rosario A, Carmen G V. Acid hydrolases during artemia development: a role in yolk degradation. Comp Biochem Physiology, 1985, 81B(4):993~1000
- 38 Begona E C, Vallejo G. The tyrosine like protease in artemia: yolk localization and developmental activation. Comp Biochemistry Physiology, 1985, 82B(4):731~736
- 39 Oosterhuis. On the usefulness of digestive enzyme activity as index of feeding activity of copepod. Hydrobiology Bull, 1985, 19:89~100
- 40 Bears M A. Diurnal feeding rhythms in north sea copepods measured by gut fluorescence digestive enzyme activity and grazing on labeled food. Neth J Sea Res, 1984, 18(1,2):97~119
- 41 Bears M A. Diurnal feeding rhythms in grazing on labeled food, gut fluorescence and digestive activities of north sea copepod. ICES Council Meeting, 1982, 20(Collected paper)
- 42 Victor D V, Laurence J K. The appearance of α -amylase activity during gut differentiation in sand dollar plutei. Developmental Biology, 1971, 26:293~299
- 43 Victor D V. The appearance of β -1,3-glucanohydrolase activity during the differentiation of the gut of sand dollar plutei. Developmental Biology, 1971, 26:1~10
- 44 蔡英亚, 张英, 魏若飞. 贝类学概论. 上海: 上海科学技术出版社, 1979
- 45 刘万顺, 李源. 海洋无脊椎动物消化酶的研究 I: 紫贻贝、日本滨螺消化酶的初步分析和应用. 山东海洋学院学报, 1988, 18(1):54~57
- 46 朱仁华. 海螺酶解壁作用的研究. 山东海洋学院学报, 1983, 13(4):47~46
- 47 小玉修嗣, 今野久仁彦, 井健一等. スルメイカのトリニトロフエニル化ミオシンの酵素的性質とキモトルブシン消化性. 日本水产学会志, 1985, 51(4):651~658
- 48 陈菊崎. 大瓶螺消化酶对海藻解壁作用的初步研究. 厦门水产学院学报, 1991, 13(1):1~6
- 49 陈菊崎. 粒花冠小月螺消化酶对海藻解壁作用的研究. 厦门水产学院学报, 1990, 12(2):21~27
- 50 戴继勋. 五种海产贝类消化酶对紫菜细胞的分离. 海洋湖沼通报, 1987(1):84~87
- 51 山口邦子, 荒木利芳, 青木恭彦等. 海产动物内脏的海藻细胞壁溶解酵素. 日本水产学会志, 1989, 55(1):105~110
- 52 杨惠萍, 董圣英, 王子臣. 皱纹盘鲍蛋白酶的研究. 水产学报, 1997, 21(2):128~133
- 53 Kenji H, Hiraki A, Tadashi I. Some enzymatic properties of alkaline protease of the rotifer, *Brachionus plicatilis*. Bull Japan Soc Sci Fish, 1984, 50(9):1611~1616

An Review: Digestive Enzymes in Fishery Animals

Yang Huiping Tong Shengying Wang Zichen

(Department of Aquaculture, DFU)

Abstract In this paper the researches on digestive enzyme of fish, crustacean, echinoderm and mollusc were reviewed, and the relationship between the feeding habit, food composition, environment and development stags was discussed, which could not only provide a basic information of optimum formula of artificial diet but also be used in the biotechnology as tool enzymes.

Key words digestive enzymes; fishery animals; artificial food; review