

天然虾青素在水产养殖业中的应用研究进展*

蔡明刚^{1,2}, 王杉霖¹, 李文权¹, 郑爱榕¹, 陈清花¹, 王 宪¹, 齐安翔¹

(1. 厦门大学海洋与环境学院, 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学化学与化工学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 本文介绍了天然虾青素的基本生理功能, 并较详细地论述了其作为饲料添加剂在海洋水产养殖中的应用研究进展; 通过比较人工合成虾青素和不同天然来源的虾青素在安全、生物效价等性能上的差异, 指出基于微藻培育的虾青素在水产应用方面具有不可替代的应用开发价值, 文章最后初步探讨了天然虾青素在水产饲料方面存在的问题和发展方向。

关键词: 海洋水产养殖; 应用研究进展; 综述; 天然虾青素

中图分类号: S963.73

文献标识码: A

文章编号: 1000-8160(2003)03-0377-09

虾青素是一种红色的天然类胡萝卜素, 广泛的存在于自然界, 尤其是海洋环境中^[1]。虾青素的化学名称为 3,3'-二羟基-β,β'-胡萝卜素-4,4'-二酮, 具体构型如图 1:

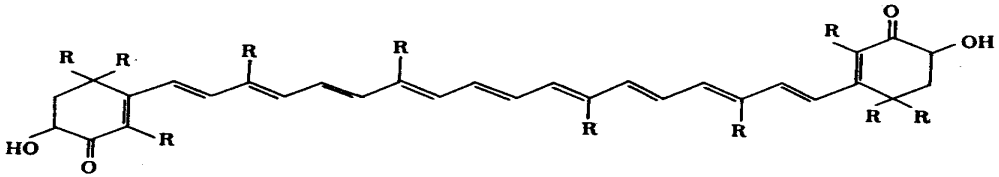


图 1 虾青素的构型

Fig. 1 Structure of astaxanthin

天然虾青素独特的分子结构, 使其具有强大的清除氧自由基、抑制单线态氧的能力^[2], 是一种比 β-胡萝卜素、维生素 E 更为有效的抗氧化剂^[3]。天然虾青素的抗氧化活性比其它的类胡萝卜素高 10 倍, 比维生素 E 高 550 倍, 因而被称为“超级维生素 E”^[2,4]。

大量研究证明, 虾青素具有抗癌症、抗衰老、增强免疫力等重要的生理功能, 而且对人体绝对安全^[5,6]。具体主要表现在以下几个方面: 保护皮肤免受紫外线的伤害, 改善老化现象, 增强免疫系统功能, 降低心血管疾病和由化学因素诱发的癌症发病率, 增加对滤过性病毒、细菌、真菌及寄生生物的抵抗力^[1,7-9]; 维护眼睛和中枢神经健康^[10,11]; 强化肌体需氧代谢, 增强肌肉力量和耐受力。

鉴于虾青素卓越的生理功能, 它在国外已被应用于食品、医药和饲料等行业, 市场前景广阔。但就目前而言, 虾青素在国际上主要作为新型高效的饲料添加剂被应用于水产养殖业中。

* 收稿日期: 2003-03-07

基金项目: 福建省科技项目(2002 Y052)和福建省海洋与渔业局课题联合资助。

作者简介: 蔡明刚(1974~), 男, 博士后。

鉴于以上所述,本文主要对天然虾青素在水产养殖中的应用及其研究进展做出较为详细的介绍。

1 虾青素在水产养殖中的应用

大量研究证明,虾青素在增加养殖对象着色,提高存活率,促进生长、繁殖、发育等方面均具有积极的意义^[12-32]。目前,虾青素已被广泛应用于鲑鱼、鳟鱼、对虾等各种养殖对象,且已被美国、欧盟、加拿大及日本等国的食品监察机构确定为安全、高效的动物饲料^[5,33]。其在水产养殖中的作用可概括如下。

1.1 卓越的着色作用

虾青素是海洋甲壳类动物和鱼类体内色素中主要的类胡萝卜素^[34],鲑鱼、龙虾等海产品红润的肉色即是由于虾青素在其体内大量累积,但养殖对象自身无法合成虾青素,且缺乏天然来源,因此必须在其饲料中给予添加,以起到补充色素的作用^[1,13-15]。当前虾青素主要的用途之一即是作为水产养殖中的色素来源,最初应用于鲑鱼和鳟鱼,现已广泛的应用于各种养殖对象^[1]。

1.1.1 促进养殖对虾着色 若养殖对虾的饲料中缺乏虾青素,则会导致对虾呈现不健康的体色。研究表明若给缺乏虾青素的对虾喂食4周含 $50 \times 10^{-6} (m/m)$ 虾青素的饲料,可使其体色恢复为正常的深青蓝色,而对照组仍呈现病态的颜色;而且,前者在煮熟后呈鲜艳的红色,后者则呈苍白的黄色,不利于市场销售^[35]。

Yamada(1990)比较了-胡萝卜素、角黄素和虾青素等3种类胡萝卜素对对虾的着色效果,结果表明同样以 $100 \times 10^{-6} (m/m)$ 浓度饲料添加量喂食对虾,虾青素在其组织中积累量最高 $[16.5 \times 10^{-6} (m/m)]$,分别比角黄素和-胡萝卜素高23%和43%;若虾青素使用量增至 $200 \times 10^{-6} (m/m)$,则组织中含量最高可达 $29.1 \times 10^{-6} (m/m)$,证明虾青素是着色效果最好的类胡萝卜素^[12]。

1.1.2 促进养殖鱼类着色 早期的研究发现,在饲料中添加虾青素还可以使鲑鱼和鲟鱼等养殖鱼类的皮肤、肌肉呈鲜红色^[1,13]。野生乌鲂(*Brama brama*)微红色的表皮着色即主要是由于虾青素的存在,而没有喂食虾青素的养殖乌鲂体内的虾青素含量仅为野生的5%。在饲料中添加其它类胡萝卜素(如-胡萝卜素、叶黄素、角黄素和紫黄质)均不能使乌鲂着色,也不能转化为虾青素,类胡萝卜素将不断从乌鲂的皮肤和鱼肉中流失。因此,必须喂食虾青素以使养殖的乌鲂获得微红的着色^[1]。

在观赏鱼养殖的着色问题中,目前还没有任何一种产品能像由雨生红球藻(*Haematococcus pluvialis*)提供的天然虾青素那样效果显著且持久^[1]。观赏鱼通过进食类胡萝卜素,可以获得明亮的色彩。Ako和Tamaru(1999)对某种观赏鱼喂食含 $100 \times 10^{-6} (m/m)$ 虾青素的饵料1周后,该鱼体表的黄色、栗色和黑色等颜色均明显加强^[14]。

此外,Choubert和Storebakken(1996)研究表明,养殖生物对虾青素的吸收利用率要优于其他色素。例如,虹鳟鱼对虾青素的消化吸收情况明显优于角黄素,其最大表观吸收系数是角黄素的两倍多;分别以虾青素和角黄素喂食虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*),达到同样的着色效果时,必需喂食角黄素 $72 \times 10^{-6} (m/m)$,而只需虾青素 $60 \times 10^{-6} (m/m)$,说明虾青素较角黄素的着色效率高^[15]。

1.2 提高养殖对象的存活率

将虾青素作为饲料添加剂投放,可通过增强免疫力、提高对恶劣条件的耐受力和对环境条件变化的适应力等多种渠道提高养殖对象的存活率。

Merchie 等(1998)研究饲料中类胡萝卜素的需求情况的结果表明,在饲料中添加虾青素可使养殖对象的免疫力获得较大提高,增强抗病力,提高存活率。还可以增强对虾后期幼体对盐度波动的抵抗能力,减弱紫外辐射对水产动物的伤害^[16]。

此外,Chien(1996)在研究虾青素对虾的生物学影响时指出,虾青素在组织中作为色素积累,可以起到在细胞间贮存氧的作用,增强鱼虾对高氮、低氧环境的耐受力。同时还报道,虾青素的生物学功能要强于 β -胡萝卜素,在虾饲料中添加 $100 \times 10^{-6} (m/m)$ 的 β -胡萝卜素时其存活率仅为 40%,添加等量虾青素即可使其存活率升至 77%^[11]。而 Yamada (1990)的研究结果也表明,若在日常饲料中添加 $100 \times 10^{-6} (m/m)$ 的虾青素,对虾存活率可达 91%,而对照组仅为 57%^[12]。金征宇等(1999)通过开展天然虾青素的喂食实验指出,以虾青素作为饲料添加剂可使罗氏沼虾的存活率增加 21.66%左右^[17]。

Christiansen 等(1995)研究饲料对大西洋鲑鱼(*Salmo salar*)的存活率影响情况时指出,在饲料中虾青素少于 $1 \times 10^{-6} (m/m)$ 时,鱼苗大量死亡,存活率尚不足 50%;而喂食充足虾青素的对照组中,鱼苗存活率可达 90%以上^[18]。

Pan 等(2001)研究虾青素的喂食、养殖水体条件对斑节对虾的着色、生长及存活率的影响时指出,喂食虾青素除了可以增加对虾着色外,还可以促进其生长、提高存活率。实验结果表明,为在斑节对虾后期幼体生长、体内虾青素含量减少时保持高存活率,应给对虾喂食一定浓度的虾青素^[19]。

1.3 促进养殖对象生长、繁殖和发育

虾青素对养殖生物的生长有显著的促进作用。金征宇等(1999)报道指出,喂食虾青素可使罗氏沼虾的增重率明显提高,实验表明喂食 5 周后增重率约达到 14.48%^[17]。

Christiansen 等(1995)开展了不同饲料对大西洋鲑鱼的生长状况及存活率的影响研究。结果表明,当大西洋鲑鱼鱼苗的日常饲料中虾青素含量高于 $5.3 \times 10^{-6} (m/m)$ 时,其保持正常生长,而低于该值时,鱼苗生长缓慢^[18]。

此外,若养殖对虾饲料中所投喂的虾青素含量不足时,对虾将出现病态,阻碍其正常的生长发育,给这种病虾喂食 4 周 $50 \times 10^{-6} (m/m)$ 的虾青素时,则恢复正常生长,并且其组织内虾青素增加量超过 300%,从虾壳中可以分离出 $26.3 \times 10^{-6} (m/m)$ 的类胡萝卜素;而对照组的增加量仅为 14%,虾壳中的类胡萝卜素含量为 $(4 \sim 7) \times 10^{-6} (m/m)$ ^[35]。

Petit 等(1997)针对喂食虾青素对对虾幼体后期生长及其蜕皮周期的影响开展了研究,发现喂食虾青素可缩短对虾后期幼体的蜕皮周期^[20]。

虾青素又可作为受精激素,改善卵质。在饲料中添加虾青素,可提高幼虾的存活率和鱼类的卵浮力和存活率,在鲑鱼育苗期也能增加受精率、卵的存活率和生长率,保护卵抵御恶劣条件的影响且促进其生长发育^[21~24]。Vassallo 等(2001)研究了虾青素对养殖对象产卵情况的影响,结果表明,在饲料中添加 $10 \times 10^{-6} (m/m)$ 的虾青素可提高其产卵率^[25]。

1.4 改善养殖对象的生理功能

在饲料中添加虾青素可改善养殖虹鳟鱼健康状况,可使其具有更好的肝功能,还可以强化

红罗非鱼肝细胞的结构和糖元储存^[21,26]。Rehulka(2000)研究了虾青素对虹鳟鱼的生长速率、血液中的各种指标及部分生理功能的影响,发现通过喂食虾青素,可以改善虹鳟鱼的造血功能和类脂及钙的新陈代谢功能^[27]。Amar等(2001)在虹鳟鱼的饵料中添加虾青素等各种类胡萝卜素,研究了这些添加剂对鱼类免疫力的影响,实验表明,在各种类胡萝卜素中,虾青素和 β -胡萝卜素既可改善如血清防御素和溶菌酶活性等体液指标,又可改善噬菌作用和非特定细胞毒性等细胞指标^[28]。

1.5 提高养殖对象的营养价值

虾青素的加入使鱼虾的营养价值也有所增加。Christiansen等(1995)研究饲料中虾青素的添加对大西洋鲑鱼的免疫力等生理状况的影响时发现,在大西洋鲑鱼进食含有虾青素的饲料以后,某些组织中的维生素A、C、E的含量明显增加,而且,当饲料中添加的虾青素含量高于 $5.3 \times 10^{-6} (m/m)$ 时,其类脂含量也明显增加;加入 $13.7 \times 10^{-6} (m/m)$ 的虾青素时,大西洋鲑鱼鱼肉中类脂含量可增高20%^[29]。在欧美市场这种以虾青素作饲料添加剂的水产品很受青睐,其价格也比普通的鱼虾高出许多^[13]。

1.6 便于水产品运输及保存

在水产品的冷藏过程中,脂类的氧化是肉质腐败的主要原因^[30]。因此,虾青素强烈的抗氧化性在水产品的运输及保存中也体现出积极作用。Jensen等(1998)对虾青素等类胡萝卜素在水产品冷藏保鲜中的抗氧化功能进行了研究,结果表明,喂食不同浓度虾青素的虹鳟鱼在冷藏过程中,脂类氧化情况存在明显差异,喂食浓度低的虹鳟鱼脂类氧化现象严重,而喂食高浓度的虾青素,则可在生肉冷藏期间起到明显保鲜作用^[31]。

此外,在鲑鱼及鳟鱼被捕后的贮藏过程中,鲑鱼因鱼肉中含虾青素少 $[4.9 \times 10^{-6} (m/m)]$,易于酸败,而鳟鱼鱼肉中虾青素含量较高 $[9.1 \times 10^{-6} (m/m)]$,同样条件下贮藏保存效果较鲑鱼好^[32]。由此可以推断在饲料中添加虾青素,增加其在水产养殖对象体内的含量,可以在一定程度上减少化学防腐剂的使用,并作为一种特殊的、高效的“生物防腐剂”,使水产品贮存得更久,而且对人体绝对安全。

2 源于雨生红球藻的虾青素优势

2.1 天然与人工合成虾青素的差异

目前,虾青素的生产具有人工合成和生物获取两种方式。人工合成虾青素不仅价格昂贵,而且同天然虾青素在结构、功能、应用及安全性等方面差别显著。

在结构方面,虾青素具有3S-3S;3R-3S;3R-3R3种构型,其中人工合成虾青素为3种结构虾青素的混合物,并以顺式结构——3R-3S型为主,与鲑鱼等养殖生物体内的虾青素(以反式结构——3S-3S型为主)截然不同^[36]。在生理功能方面,人工合成虾青素的稳定性和氧化活性亦比天然虾青素低^[37]。在应用效果上,人工虾青素的生物吸收效果也较天然虾青素差,喂食浓度较低时,人工虾青素在虹鳟鱼血液中浓度明显低于天然虾青素^[38],且在体内无法转化为天然构型^[5],其着色能力和生物效价更比同浓度的天然虾青素低的多^[35,39]。在生物安全方面,利用化学手段合成虾青素时将不可避免的引入杂质化合物,如合成过程中产生的非天然副产物等,将降低其生物利用安全性^[3]。

随着天然虾青素的兴起,世界各国对化学合成虾青素的管理也越来越严,如美国食品与药

物管理局(FDA)已禁止化学合成的虾青素进入保健食品市场^[5]。目前,虾青素的生产一般倾向于开发天然虾青素的生物来源,并由此进行大规模生产。

2.2 天然虾青素的生物来源

目前,天然虾青素的生物来源一般有3种:水产品加工工业的废弃物、红发夫酵母(*Phaffia rhodozyma*)和微藻(雨生红球藻)。其中,废弃物中虾青素含量较低,且提取费用较高,不适用于进行大规模生产。天然的红发夫酵母中虾青素平均含量也仅为0.40%。

相比之下,雨生红球藻中虾青素含量为1.5%~3.0%,被看作是天然虾青素的“浓缩品”。大量研究表明雨生红球藻对虾青素的积累速率和生产总量较其它绿藻高,而且雨生红球藻所含虾青素及其酯类的配比(约70%的单酯,25%的双酯及5%的单体)与水产养殖动物自身配比极为相似,这是通过化学合成和利用红发夫酵母等提取的虾青素所不具备的优势^[40,41]。此外,雨生红球藻中虾青素的结构以3S-3S型为主,与鲑鱼等水产生物体内虾青素结构基本一致;而红发夫酵母中虾青素结构则为3R-3R型^[33]。

当前,雨生红球藻被公认为自然界中生产天然虾青素的最好生物,因此,利用这种微藻提取虾青素无疑具有广阔的发展前景,已成为近年来国际上天然虾青素生产的研究热点。

3 天然虾青素饲料应用研究的问题及发展方向

综合国内外研究情况来看,各种类胡萝卜素对水产养殖对象的应用效果仍存在一定争议^[42~46]。Yanar和Tekelioglu(1999)研究表明胡萝卜素醇等色素对金鱼的着色效果优于虾青素^[42]。Buttle等(2001)研究了不同色素对养殖的大西洋鲑鱼着色及色素在其体内积累情况的影响差异,结果表明,虹鳟鱼对虾青素的利用率比角黄素高很多,但对于大西洋鲑鱼的情况却不是如此^[43]。而Baker等(2002)研究了大西洋鲑鱼对虾青素和其他色素的吸收情况及着色效果差异,认为角黄素的着色效果与虾青素基本无差异,同时指出色素的吸收情况与喂食的色素量存在一定的线性关系^[44]。还有一些报道则认为对于大西洋鲑鱼和虹鳟鱼,虾青素的着色效果均优于角黄素^[45,46]。由此可见,不同水产养殖对象对虾青素的应用效果仍存在争议,有待进一步研究,以确定虾青素对不同水产养殖对象的应用效价比。

Gomes等(2002)研究比较了不同来源(人工合成及不同天然生物来源)的虾青素对乌颊鱼(*Sparus aurata*)的着色效果,实验表明各种不同来源和种类的类型胡萝卜素对该鱼类的着色效果无明显差异,同时指出,仅通过喂食方式来确定某种色素调节乌颊鱼皮肤着色的效果仍存在困难^[39]。但是,其他很多学者的研究则表明,对于养殖生物(虹鳟鱼等)而言,天然虾青素在吸收效果、着色能力和生物效价等方面均优于化学合成的虾青素^[1,37]。因此,不同来源(人工合成及不同天然生物来源)的虾青素的生物应用效价比仍有待进一步研究,并确定养殖生物对各种来源的虾青素的吸收利用机制。

在虾青素喂食研究中,不同学者所采用的喂食浓度不尽相同。而对不同的养殖生物,虾青素的最适投喂量及投喂方式应存在一定差异,为开展更为广泛的虾青素应用效价研究,有必要继续开展虾青素在水产养殖中的最适使用量及投喂方式等方面内容的研究。

目前,国内几乎未见有关虾青素在水产养殖方面应用的报道,仅金征宇等(1999)在罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)的饲料中添加含虾青素的红发夫酵母,研究其中的虾青素对罗氏沼虾体色及生长状况的影响^[17]。但就虾青素生产的发展趋势来看,雨生红球藻无疑将成为

主要的天然虾青素生物来源.因此,国内目前亟待开展天然虾青素的水产养殖应用研究,尤其是源自雨生红球藻的虾青素的水产养殖应用效果研究.

4 结语

虾青素具有极强的抗氧化能力、生理功能强大,在国外已广泛应用于水产养殖业.本文着重介绍了虾青素在水产养殖中的增加养殖对象着色,提高存活率,促进生长、繁殖、发育等方面功用,并对这些方面的应用研究进展作出较详细的叙述.此外,针对利用雨生红球藻生产的虾青素的优越性进行了阐述,并就目前研究中存在的问题做出分析,提出未来的研究发展方向.

天然虾青素的安全性已得到广泛的认可,在“绿色壁垒”高筑的情况下,有助于水产业的进一步发展.因此,将虾青素作为水产养殖中的饲料添加剂必然受到越来越多的关注,为更多的水产养殖业者所采用,具有广阔的应用前景.

目前,发达国家每年对虾青素产品的需求至少在几十吨以上,市场需求远远得不到满足.而全球水产品以每年 24% 的比例递增,对于虾青素的需求,仅鲑鱼饲料一项的年市场容量就超过 1.85 亿美金,并以每年 8% 的速率递增,显出极大的市场潜力^[47].但是,由于天然虾青素的生产中仍存在一些瓶颈,仅有国外的少数几家大公司实现了虾青素的规模生产,造成技术垄断,导致目前国际上虾青素的价格高达每千克 2 500 美元以上^[1].因此,国内应加快虾青素的水产养殖应用和生产方面的研究进程,以顺应市场要求.

参考文献:

- [1] Lorenz R T, Cysewski G R. Commercial potential for Haematococcus microalgae as a natural source of astaxanthin [J]. *Tibtech*, 2000, 18: 160 ~ 167.
- [2] Naguib Y M A. Antioxidant activities of astaxanthin and related carotenoids [J]. *J Agric Food Chem*, 2000, 48: 1 150.
- [3] Johnson E A, An G H. Astaxanthin from microbial sources [J]. *Critical Reviews in Biotechnology*, 1991, 11: 297 ~ 326.
- [4] Nakagawa K, Kang S, Park D, et al. Inhibition by beta-carotene and astaxanthin of NADPH-dependent microsomal phospholipid peroxidation [J]. *J Nutrit Sci Vitamin*, 1997, 43: 345.
- [5] 魏东, 严小君. 天然虾青素的超级抗氧化活性及其应用 [J]. *中国海洋药物*, 2001, 82: 45 ~ 50.
- [6] Nishikawa Y, Minenaka Y, Ichimura M. Physiological and biochemical effects of carotenoid (beta-carotene and astaxanthin) on rat [J]. *Kashien Daigku Kiyo*, 1997, 25: 19.
- [7] Lee S H, Cherl W P, Wong S P, et al. Inhibition of benzo(a)pyrene-induced mouse forestomach neoplasia by astaxanthin containing egg yolks [J]. *Agric Chem Biolechnol*, 1997, 40: 490.
- [8] Chew B P, Park J S, Wong M W, et al. A comparison of the anticancer activities of dietary beta-carotene, canthaxanthin and astaxanthin in mice in vivo [J]. *Anticancer Research*, 1999, 19: 1 849.
- [9] Jyonouchi H, Sun S, Mizokami M, et al. Effects of various carotenoids on cloned, effector-stage T-helper cell activity [J]. *Nutr Cancer*, 1996, 26: 313.
- [10] Snodderly D M. Evidence for protection against age-related macular degeneration by carotenoids and antioxidant vitamins [J]. *Amer J Clinical Nutr*, 1995, 62S: 1 448.
- [11] Dawson V L, Dawson T M. Nitric oxide neurotoxicity [J]. *J Chem Neuroanat*, 1996, 10: 179.
- [12] Yamada S. Pigmentation of prawn (*Penaeus japonicus*) with carotenoids I. effect of dietary astaxan-

- thin, beta-carotene and canthaxanthin on pigmentation[J]. *Aquaculture*, 1990, 87: 323 ~ 330.
- [13] 施安辉, 萧海杰. 目前国内外虾青素研究的进展[J]. *生物工程进展*, 1999, (1): 29 ~ 31.
- [14] Ako H, Tamaru C S. Are feeds for food fish practical for aquarium fish? [J]. *Intl Aqua Feeds*, 1999, 2: 30 ~ 36.
- [15] Choubert G, Storebakken T. Digestibility of astaxanthin and canthaxanthin in rainbow trout as affected by dietary concentration, feeding rate and water salinity[J]. *Annales de Zootechnie*, 1996, 45: 445 ~ 453.
- [16] Merchie G, Kontara E, Lavens P, et al. Effect of vitamin C and astaxanthin on stress and disease resistance of postlarval tiger shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius) [J]. *Aqua Reseach*, 1998, 29: 579 ~ 585.
- [17] 金征宇, 过世东, 吕玉华. 饲料中添加富含虾青素的法夫酵母对罗氏沼虾的体色及生长状况的影响[J]. *饲料工业*, 1999, (20): 29 ~ 31.
- [18] Christiansen R, Lie Ø, Torrissen O J. Growth and survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L, fed different dietary levels of astaxanthin: First-feeding fry. [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1995, 1: 189 ~ 198.
- [19] Pan C H, Chien Y H, Cheng J H. Effects of light regime, algae in the water, and dietary astaxanthin on pigmentation, growth, and survival of black tiger prawn *Penaeus monodon* post-larvae[J]. *Zoological Studies*, 2001, 40: 371 ~ 382.
- [20] Petit H, NegreSadargues G, Castillo R, et al. The effects of dietary astaxanthin on growth and moulting cycle of postlarval stages of the prawn, *Penaeus japonicus* (Crustacea, Decapoda) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology A-physiology*, 1997, 117: 539 ~ 544.
- [21] Torrissen O J, Christiansen R. Requirements for carotenoids in fish diets[J]. *J Appl Ichthyol*, 1995, 11: 225.
- [22] Kawakami T, Tsushima M, Katabami Y, et al. Effect of beta-carotene, bechinenone, astaxanthin, fucoxanthin, vitamin A and vitamin E on the biological defense of the sea urchin *Pseudocentrotus depressus*[J]. *J Exp Mar Bio Ecol*, 1998, 226: 165.
- [23] Craik J C A. Egg quality and egg pigment content in salmonid fishes[J]. *Aquaculture*, 1985, 47: 61 ~ 68.
- [24] Torrissen O J. Pigmentation of salmonids-effect of carotenoids in eggs and start-feeding diet on survival and growth rate[J]. *Aquaculture*, 1984, 43: 185 ~ 193.
- [25] Vassallo A R, Imaizumi H, Watanabe T, et al. The influence of astaxanthin supplemented dry pellets on spawning of striped jack[J]. *Fisheries Science*, 2001, 67: 260 ~ 270.
- [26] Nakano T, Tosa M, Takeuchi M. Improvement of biochemical features in fish health by red yeast and synthetic astaxanthin [J]. *J Agric Food Chem*, 1995, 43: 1 570 ~ 1 573.
- [27] Rehulka J. Influence of astaxanthin on growth rate, condition, and some blood indices of rainbow trout [J]. *Aquaculture*, 2000, 190: 27 ~ 47.
- [28] Amar E C, Kiron V, Satoh S, et al. Influence of various dietary synthetic carotenoids on bio-defence mechanisms in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) [J]. *Aqua Research*, 2001, 32: 162 ~ 173.
- [29] Christiansen P, Glette J, Lie O, et al. Antioxidant status and immunity in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed semi-purified diets with and without astaxanthin supplementation[J]. *J Fish Diseases*, 1995, 102: 333.
- [30] Scaife J R, Onibi G E, Murray I, et al. Influence of alpha-tocopherol acetate on the short- and long-

- term storage properties of filets from Atlantic salmon *Salmo salar* fed a high lipid diet[J]. *Aqua Nutrition*,2000,6:65 ~ 71.
- [31] Jensen C,Birk E,Jokumsen A ,et al. Effect of dietary levels of fat , alpha-tocopherol and astaxanthin on colour and lipid oxidation during storage of frozen rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and during chill storage of smoked trout[J]. *Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung , Und-Forschung A-Food Research and Technology* ,1998 ,207:189 ~ 196.
- [32] 王菊芳,吴振强,梁世中. 虾青素的生理功能及其应用[J]. *食品与发酵工业* ,1999 ,(2) :66 ~ 69.
- [33] Sommer T R ,Potts W T , Morrissy N M. Utilization of microalgal astaxanthin by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture* ,1991 ,94:79 ~ 88.
- [34] Felix V L ,Higuera C I ,Goycoolea V F ,et al. Supercritical CO₂/ethanol extraction of astaxanthin from blue crab (*Callinectes sapidus*) shell waste[J]. *J of Food Process Engineering* ,2001 ,24:101 ~ 112.
- [35] Menasveta P. Correction of black tiger prawn (*Penaeus monodon*) coloration by astaxanthin [J]. *Aquaculture Engineering* ,1993 ,12:203 ~ 213.
- [36] Turujman S A ,Wamer W G ,Wei R R ,et al. Rapid liquid chromatographic method to distinguish wild salmon from aquacultured salmon fed synthetic astaxanthin [J]. *Journal of AOAC International* , 1997 ,80:622 ~ 632.
- [37] Lim G B ,Lee S Y ,Lee E K ,et al. Separation of astaxanthin from red yeast *Phaffia rhodozyma* by supercritical carbon dioxide extraction[J]. *Biochemical Engineering Journal* ,2002 ,11:181 ~ 187.
- [38] Barbosa M J ,Morais R ,Choubert G. Effect of carotenoid source and dietary lipid content on blood astaxanthin concentration in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture* ,1999 ,176:331 ~ 341.
- [39] Gomes E ,Dias J ,Silva P ,et al. Utilization of natural and synthetic sources of carotenoids in the skin pigmentation of gilthead seabreams (*Sparus aurata*) [J]. *European Food Research and Technology* , 2002 ,214:287 ~ 293.
- [40] Storebakken T ,Foss P ,Austreng E ,et al. Carotenoids in diets for salmonids II. epimerization studies with astaxanthin in Atlantic salmon[J]. *Aquaculture* ,1985 ,44:259 ~ 269.
- [41] Orosa M , Valero J F , Herrero C , et al. , Comparison of the accumulation of asaxanthin in *Haemato-coccus pluvialis* and other green microalgae under N-starvation and high light conditions[J]. *Biotech Lett* ,2001 ,23:1 079 ~ 1 085.
- [42] Yanar M ,Tekelioglu N. The effect of natural and synthetic carotenoids on pigmentation of gold fish (*Carassius auratus*) [J]. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* ,1999 ,23:501 ~ 505.
- [43] Buttle L G ,Crampton V O , Williams P D. The effect of feed pigment type on flesh pigment deposition and colour in farmed Atlantic salmon ,*Salmo salar* [J]. *Aquaculture Res* ,2001 ,32:103 ~ 111.
- [44] Baker R T M ,Pfeiffer A M ,Schoner F J ,et al. Pigmenting efficacy of astaxanthin and canthaxanthin in fresh-water reared Atlantic salmon ,*Salmo salar*[J]. *Animal Feed Science and Technology* ,2002 , 99:97 ~ 106.
- [45] Storebakken T ,Foss P ,Schiedt K ,et al. Carotenoids in diets for salmonids IV. Pigmentation of Atlantic salmon with astaxanthin ,astaxanthin dipalmitate and canthaxanthin [J]. *Aquaculture* ,1987 ,65: 279 ~ 292.
- [46] Storebakken T ,No H K. Pigmentation of rainbow trout [J]. *Aquaculture* ,1992 ,100:209 ~ 229.
- [47] 魏东,臧晓南. 大规模培养雨生红球藻生产天然虾青素的研究进展和产业现代化[J]. *中国海洋药物* ,

2001,83:4~8.

Advances in application studies of natural astaxanthin in aquaculture

CAI Ming-gang^{1,2}, WANG Shan-lin¹, LI Wen-quan¹,
ZHENG Ai-rong¹, CHEN Qing-hua¹, WANG Xian¹, QI An-xiang¹

(1. College of Oceanography and Environment, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. College of Chemistry and Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Current situation of application study of natural astaxanthin as feedstuff additive in marine aquaculture was reviewed in present paper. And physiological function of astaxanthin was introduced. The unequaled high value in aquaculture of natural astaxanthin from microalgae was expatiated after comparing its biological safety and efficiency with that of synthetic astaxanthin. Existing problems and developing direction were also proposed.

Key words: marine aquaculture; advances in application studies; summarigation; natural astaxanthin