

# 加州鲈(*Micropterus salmoides*) 生物学特性和营养需求研究进展

■ 朱志明 朱旺明 蓝汉冰

(佛山市信豚生物科技有限公司, 广东佛山 528211)

**摘要:**近年来加州鲈养殖规模不断扩大,年产量已超20万吨。但由于加州鲈具有特殊的生活和摄食习性,对加州鲈营养需求、消化吸收和代谢机制的研究相对较为缺乏,人工配合饲料的研制和使用也尚未得到市场的广泛认可,因此多年来加州鲈养殖一直以投喂冰鲜杂鱼为主,人工配合饲料仅在养殖后期间歇性使用,极大地制约了加州鲈养殖产业的快速发展。文章综述了加州鲈生物学特性以及国内外对其蛋白质、脂质和碳水化合物营养需求的研究,为加州鲈营养需求研究和配合饲料的开发提供一定的背景资料。

**关键词:**加州鲈;营养需求;配合饲料

**doi:**10.13302/j.cnki.fi.2014.16.008

**中图分类号:**S963 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-991X(2014)16-0031-06

## The biological characteristics and nutritional requirement of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

Zhu Zhiming, Zhu Wangming, Lan Hanbing

**Abstract:** The farming scale of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) experienced rapid development in recent decades and the production had reached to 200 000 tons in present years. However, there was low information referred to nutritional requirement, digestion and absorption of food, and metabolic mechanism in largemouth bass due to their characteristic of feeding. Therefore, the frozen feeding-stuffs fish was still the main food source in largemouth bass farming because the manufactured feed was not widely accepted by farmers. Then the development of largemouth bass farming was restricted inevitably. This article reviewed the biological characteristics of largemouth bass, as well as the protein, lipids and carbohydrate demands in their process of growth. This can also offer some basic information in the research of nutritional requirement and manufactured feed formulation of largemouth bass.

**Key words:** *Micropterus salmoides*; nutritional requirement; manufactured feed

加州鲈学名大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*, Lacepède 1802),在分类学上隶属于鲈形目 (*Perciformes*)、鲈亚目 (*Percoidei*)、太阳鱼科 (*Ceetrachidae*)、黑鲈属 (*Micropterus*),分为北方亚种和佛罗里达亚种,原产美国加利福尼亚州密西西比河水系<sup>[1]</sup>。加州鲈是一种肉质鲜美、抗病力强、生长迅速、易起捕、适温性广的名贵肉食性鱼类,但是其入侵能力也很强,竞争优势

大,会捕食当地土著鱼类,从而破坏引入地的生态平衡。20世纪70年代末我国台湾省从国外引进加州鲈并于1983年人工繁殖获得成功,同年从台湾省引进广东省,现已推广到全国各地,成为国内重要的淡水养殖品种之一。2014年我国加州鲈年产量即达16万吨,广东省养殖量占全国的75%,江浙等地养殖量占20%,四川和江西等地共占5%。广东省加州鲈养殖面积超过4万亩,主要集中在佛山顺德、南海,其中顺德区养殖量占全国的50%,南海区占25%<sup>[2]</sup>。据不完全统计,目前国内加州鲈年产量已突破20万吨。然而,目前加州鲈养殖仍以投喂冰鲜小杂鱼为主,人工配合饲料的研制和使用尚未得到普及,其中最主要的原因就是对加州鲈摄食特性和基本营养需求尚不十分清楚,导致配合饲料喂养加州

作者简介:朱志明,博士,研究方向为鱼类运动与生理代谢。

收稿日期:2014-06-18

基金项目:科技型中小企业技术创新项目[14C26214402665]

鲈后期出现生长停滞、肝脏病变和疾病频发的状况,给加州鲈规模化养殖的发展带来了极大的制约。

### 1 加州鲈生物学特性

加州鲈体形呈纺锤形,其最为明显的躯体特征是具有巨大的、倾斜状并延伸到眼后缘的口裂,口腔发育良好,在上下咽均具有梳状齿,颌能伸缩,眼珠突出<sup>[3]</sup>。加州鲈头顶和背部呈现黑色到浅绿色,体侧青绿,眼部灰白色,头的下部和腹部颜色很浅,身体侧面从吻端到尾部沿侧线分布有条纹或黑斑,在幼鱼中更为明显<sup>[4]</sup>。尾为正尾裂,稍向内凹,侧线完全,有胃和幽门盲囊,消化道为体长的0.7倍,可食部分约占体重的86%。

在自然环境中,加州鲈喜栖息于沙质或沙泥质且混浊度低的静水环境,尤喜群栖于清澈的缓流水中,一般活动于中下水层,常藏身于植物丛中。加州鲈根据年龄阶段和活力的不同对温度的要求也不一样,成年个体最适生长温度是24~30℃<sup>[5-6]</sup>,生长最低许可温度是15℃,最高是36℃<sup>[6]</sup>。产卵和孵化的温度范围是13~26℃<sup>[7]</sup>,最佳温度是20~21℃<sup>[8]</sup>。30℃以上<sup>[7]</sup>或10℃以下<sup>[9]</sup>,卵和胚胎就很难存活。鱼苗最佳生长温度是27~30℃,温度低于15℃或超过32℃生长就将停止<sup>[6,10]</sup>。未成年加州鲈达到最快生长速度的适宜温度是26~28℃<sup>[11]</sup>。

加州鲈对溶氧(DO)耐受性较高,一般DO>3.0 mg/l时均可达到较好的生长状态,在适温下甚至可耐受1.5 mg/l的低溶氧<sup>[3]</sup>,但是当溶氧低于1.0 mg/l时将会对加州鲈造成致命影响<sup>[6]</sup>。加州鲈生活适宜的pH值范围为6.5~8.5<sup>[12]</sup>,它们能够短暂地忍受最低pH值3.9和最高pH值10.9的环境,在pH值低于5.0时停止产卵,而在pH值高于9.6时卵无法存活<sup>[6]</sup>。同时,加州鲈也能够耐受高的浊度,在池塘浊度为25~100 mg/kg时均能生长,但在浊度低于25 mg/kg时生长最好,在浊度大于100 mg/kg的水体中幼鱼可能无法存活<sup>[6]</sup>。

加州鲈作为典型的肉食性鱼类,摄食性强,食量大,且会相互残杀,其在幼苗时期主要摄食枝角类、桡足类和双翅目幼虫和蛹、端足类等,当其体长达到10 cm左右时,即可开始摄食小型鱼类<sup>[1]</sup>。人工养殖成鱼可投喂鲜活小杂鱼、切碎的冰鲜鱼,也可投喂人工配合饲料,目前在使用人工饲料养殖加州鲈方面已经进行了一定的研究报道,市场上也有个别全程投喂配合饲料养殖加州鲈取得成功的案例。

### 2 加州鲈饲料蛋白质营养

#### 2.1 饲料蛋白需求量

加州鲈是典型的肉食性鱼类,消化道短,摄食的饲料通过消化的时间也很短,因此饲料中营养物质

是否容易被消化吸收就显得非常重要。在人工饲养早期,典型的加州鲈饲料一般至少含有40%的蛋白质,其中鱼粉所提供的蛋白质占饲料总蛋白的50%~70%,脂类含量为20%~30%<sup>[13-14]</sup>。分别用蛋白含量31%~40%的不同商业饲料饲喂加州鲈,发现加州鲈生长速度显著受到饲料蛋白含量的影响,且随饲料蛋白含量的升高而升高,同时鱼体脂肪含量则随着饲料蛋白含量的上升而出现下降<sup>[15]</sup>。

钱国英(2000)研究发现,蛋白质含量从39%增加到42%时鱼体生长率呈明显上升趋势,而蛋白质含量从42%增加到45%时生长上升趋势减缓,尽管饲料中45%蛋白对加州鲈鱼生长有利,但是蛋白质利用效率反而下降,呈现蛋白过量的现象;饲料系数则随蛋白含量从39%上升到42%而迅速下降,但是饲料蛋白含量从42%增加到45%时出现饲料浪费现象<sup>[16]</sup>。有文献报道了饲料不同蛋白和能量水平对加州鲈幼鱼生长和体成分的影响,结果表明当饲料蛋白含量为43.6%时鱼体达到最大生长速度,这一结果与前述研究基本一致,而饲料系数则在饲料蛋白水平为44.8%时最低(FCR=1.04),同时饲料能量水平为162.1 kJ/g时饲料系数也有较好表现(FCR=1.13),日摄食量随饲料蛋白和能量水平的升高而下降,当加州鲈饲料蛋白能比处于25.01~26.89 mg pro/kJ时,能够获得更优的饲料系数<sup>[17]</sup>。

不同季节因为在水温、溶氧、pH值等方面均存在一定差异,其对加州鲈的生长和饲料蛋白需求量也带来了一定影响,用蛋白含量分别为42%、44%和47%的配合饲料(其中鱼粉蛋白贡献率约为53%)饲喂加州鲈幼鱼[(122.1±2.6) g],发现在夏季(5月~10月)三种饲料下加州鲈增重率分别为162.5%、157.0%和201.7%,饲料系数分别为2.2、2.4和1.9;在冬季(10月~次年5月)增重率分别为19.6%、28.5%和17.3%,而饲料系数分别为4.2、2.4和3.9<sup>[14]</sup>,表明在夏季时加州鲈对饲料蛋白含量要求更高,高蛋白饲料有利于其生长,而冬天因为加州鲈基本处于停止摄食状态,对饲料蛋白需求的要求也随之下降。

众多的研究表明,加州鲈饲料中的蛋白质含量应该处于一个较为合理的水平才能有效促进鱼体生长,蛋白含量过低无法满足鱼体快速生长对蛋白质营养的需求,而含量过高则会造成蛋白质吸收效率下降,带来资源浪费和环境污染的问题。综合而言,加州鲈对饲料中蛋白的需求量在40%以上,达到更佳生长速度的饲料蛋白水平为45%左右,其中鱼粉对蛋白的贡献率应不低于50%,并且应尽量减少饲料中纤维素的含量,避免食物过快的通过消化道,从而避免营养物

质尚未完全吸收就被排出体外。

## 2.2 饲料蛋白替代物

鱼粉一直是高档水产饲料所不可或缺的优质原料,然而近十年来全球鱼粉产量维持在500~600万吨,有限的鱼粉资源已经无法满足水产饲料对其的需求,因此目前鱼粉替代物的研究也成为了水产动物营养研究的热点问题。

以鱼粉、禽类副产品粉、豆粕和玉米麸为蛋白源分别替代基础料的30%,研究加州鲈对不同来源蛋白质的消化利用效率<sup>[18]</sup>,结果显示豆粕和玉米麸的蛋白质消化率高于鱼粉,禽类副产品粉蛋白质消化率最低,说明加州鲈对豆粕和玉米麸中的蛋白质具有较好的吸收利用率;而脂肪消化率则恰好相反,鱼粉和禽类副产品粉脂肪消化率显著高于豆粕,脂肪消化率最低的是玉米麸。玉米麸由于含有较高的植物性脂肪(8.1%),可能是导致添加玉米麸饲料脂质消化率最低的最主要原因。此外,鱼粉的必需氨基酸和非必需氨基酸含量均高于其它蛋白原料,但是豆粕和玉米麸的必需氨基酸和非必需氨基酸的消化率却高于鱼粉和禽类副产品粉,说明加州鲈能够较好地利用植物蛋白,作者认为这可能得益于饲料制作过程中的高温破坏了植物蛋白原料中的抗营养因子。但是,植物蛋白原料中较高含量的植酸会影响到磷的消化吸收,这可能是导致豆粕和玉米麸饲料中磷的表观消化率下降的原因<sup>[18]</sup>。王新霞(2009)以发酵豆粕替代鱼粉研究其对加州鲈生长和饲料利用效率的影响,结果表明饲料中添加10%的发酵豆粕不会影响到加州鲈特定生长率和饲料系数,甚至特定生长率还出现一定程度的提高,同时干物质表观消化率、蛋白质和脂肪表观消化率均未发生显著变化,其结果与前述研究基本一致<sup>[19]</sup>。

但是,也有研究表明,在饲料中分别添加20%、40%和60%的豆粕替代鱼粉,会导致加州鲈摄食率随豆粕水平的上升而下降,说明饲料中豆粕添加量不能过高<sup>[20]</sup>。在以豆粕替代60%鱼粉的饲料中再额外添加氨基酸(丙氨酸、甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸、亮氨酸、缬氨酸、组氨酸和色氨酸)、核苷酸(肌苷酸和IMP-5')和甜菜碱,发现添加核苷酸可以显著提高摄食率46%,而在两种核苷酸中,IMP-5'增强摄食的效果更强,其适宜添加量为2 800 mg/kg<sup>[20]</sup>,因此核苷酸对加州鲈是一种较为强烈的诱食剂,可以促进摄食。

以加拿大菜油、鸡油、鲱鱼油为脂肪源,利用禽类副产品粉100%替代鱼粉研究其对加州鲈生长、体成分和血液生化指标的影响。结果表明,虽然各脂肪源组鱼体增重量没有出现显著差异,但是各实验组均显著低于对

照组(投喂商业饲料)<sup>[21]</sup>,但是在使用相同的脂肪源,如果饲料中添加了30%鱼粉,则各组与对照组在生长上没有出现显著差异<sup>[22]</sup>,表明饲料中添加一定量的鱼粉能够弥补添加其它蛋白源对生长带来的不利影响,从而使鱼体获得更好的生长效果。饲料蛋白质的质量取决于总氨基酸的平衡和可利用氨基酸的平衡,而禽类副产品粉可能缺乏某些必需氨基酸,如蛋氨酸和组氨酸,禽类副产品粉中蛋白质的表观消化率在加州鲈中虽然也能达到82%,但是仍然低于鱼粉的表观消化率(88%)<sup>[18]</sup>。此外,虽然禽类副产品粉氨基酸组成与添加了鱼粉的商业饲料类似,但是禽类副产品粉总必需氨基酸的可利用性也低于鱼粉,且鱼粉适口性更好,从而导致100%添加禽类副产品粉的加州鲈生长速度缓慢。

研究发现,当饲料中含有15%鱼粉和34.5%的豆粕时,额外添加15%的禽类副产品粉或者15%的血粉和玉米麸混合物(相当于替代了50%鱼粉)不会对加州鲈幼鱼生长和饲料系数带来显著影响,当血粉和玉米麸混合物替代鱼粉比例达到75%以上时,鱼体生长和存活率均显著下降<sup>[23]</sup>。这可能是由于植物性蛋白赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、色氨酸含量通常低于动物蛋白,其中玉米麸精氨酸和赖氨酸含量均比较低。

综合以上文献报道,鱼粉在加州鲈生长中发挥着及其重要的作用,目前还无法使用其它蛋白源完全替代鱼粉,但是在饲料中添加一定比例的植物蛋白如豆粕和玉米麸,对加州鲈生长和健康不会带来显著影响,而其它动物蛋白源,如禽类副产品粉和血粉等,也能部分替代鱼粉作为加州鲈饲料蛋白源。

## 2.3 氨基酸营养需求

与其它脊椎动物一样,淡水鱼类的内分泌系统在调节机体生长和营养利用方面发挥着重要的作用,而食物营养水平是众多能够调节内分泌系统的重要因素之一。在众多的内分泌激素中,生长激素(GH)、胰岛素样生长因子(IGF-I)和胰岛素是调节动物体对三大类营养物质蛋白质、脂质和碳水化合物代谢和利用的最基本要素。

对秘鲁鱼粉、国产鱼粉、豆粕、麦麸和次粉的蛋白质和氨基酸在加州鲈体内的表观消化率进行研究,结果表明秘鲁鱼粉和国产鱼粉氨基酸表观消化率均能达到90%左右,而酵母、豆粕氨基酸消化率则低于83%,麦麸和次粉更低,仅为75%~76%<sup>[24]</sup>。说明加州鲈对鱼粉的氨基酸消化率要优于植物蛋白,这可能与鱼粉中氨基酸组成的均衡性有关。鱼粉中不仅富含动物体所必需的8种氨基酸,尤其是蛋氨酸、赖氨酸和精氨酸含量较高,而其它氨基酸的组成也较为均衡,这可能更加

符合加州鲈动物食性的消化特点。此外,加州鲈的肠道较短,胃肠道中的蛋白酶的活性较高,而纤维素酶的活性很弱,植物性蛋白原料中纤维素含量也较高,这将促使肠道加速蠕动,使未被消化的食物迅速排出体外,可能也是造成植物蛋白氨基酸消化率较低的原因之一。

精氨酸是鱼类生长和健康的必需氨基酸,它能够参与众多的生理代谢途径,并起到促进分泌的作用。在饲料中添加1.70%~3.01%的精氨酸,加州鲈SGR出现上升趋势并在3.01%添加量时达到最大值,并且脑垂体生长激素mRNA(GH mRNA)表达量也随着饲料精氨酸含量的上升而升高;此外肝脏IGF-I mRNA基本上也随着精氨酸水平的上升而升高,线性回归分析显示它们之间具有显著的正相关关系<sup>[25]</sup>。在加州鲈饲料中添加1.7%的蛋氨酸,可以显著降低饲料系数并在一定程度上提高增重率;而饲料中添加PUFA则可以显著降低鱼体脂肪含量,同时提高蛋白含量<sup>[26]</sup>。研究发现,相对于其它氨基酸而言,蛋氨酸、丙氨酸、甘氨酸和缬氨酸对加州鲈幼鱼的诱食作用均达到了极显著水平<sup>[27]</sup>,说明在加州鲈饲料中添加这些氨基酸作为诱食剂,可以改善饲料的诱食性,刺激鱼体摄食行为,并具有提高摄食率和促进幼鱼生长发育的潜在功能。

关于加州鲈氨基酸需求的文献报道较少,从已有文献报道来看,在加州鲈饲料中添加适量的精氨酸和蛋氨酸,能够对鱼体生长和摄食带来一定的促进作用,如果饲料中鱼粉含量很高,可能鱼粉中的氨基酸已能满足加州鲈生长需求,则无需额外添加氨基酸。

### 3 加州鲈饲料脂质营养

养殖鱼类包括加州鲈的饲料中一般都会含有一定量的渔产品(鱼粉、鱼油等),因为这些物质中含有高含量的n-3族高不饱和脂肪酸(High unsaturated fatty acid, HUFA),它们是动物体维持正常生理机能所必需的多不饱和脂肪酸,另外,n-6族HUFA,如AA(花生四烯酸,20:4n-6)也是维持机体健康所必需的脂肪酸。食物脂肪酸的组成也会影响到鱼类的免疫功能,如红细胞压积、溶菌酶和补体活性、体液免疫反应等<sup>[22]</sup>。

商业加州鲈料中粗脂肪含量一般为10%~15%,蛋能比大约为110 mg/kcal,当饲料中分别添加0、5%、10%、15%和20%的鳕鱼肝油(粗脂肪实测值分别为7.3%、10.1%、16.4%、19.7%和22.8%),并调整蛋能比分别为137、120、106.95 mg/kcal和86 mg/kcal,结果表明,各添加组间生长虽然没有显著差异,但是10.1%脂肪组生长相对最快,而饲料系数为1.28,饲料系数最低的是19.7%脂肪组,为1.10<sup>[28]</sup>。此外,肝体比则随着饲料脂肪含量的上升而显著升高。各实验组全鱼和白肌中粗蛋

白和粗脂肪含量均十分接近,肝脏中脂肪含量在16.4%组反而最低,10.1%组也较低,最高的是19.7%组<sup>[28]</sup>。说明在粗蛋白为40%左右时,7%~16%的总脂以及106~137 mg/kcal的蛋能比更适合加州鲈生长的营养需求。

利用脱脂鱼粉作为蛋白源,通过向饲料中添加加拿大菜油、鸡油、鲱鱼油来研究饲料中添加不同种类脂肪对加州鲈生长、体成分和血液指标的影响<sup>[22]</sup>。结果表明,饲料中添加鱼油能够获得最佳生长表现,同时饲料系数也相对较低,而生长最差的是菜油组。不过饲料中添加不同来源的脂肪并未对加州鲈肌肉粗蛋白含量带来显著影响,而添加10%鲱鱼油实验组鱼体肌肉总脂含量要高于其它各组。从脂肪酸含量来看,投喂含加拿大菜油饲料的加州鲈肌肉中n-6族脂肪酸含量较高,这可能与菜油中含有丰富的18:2n-6脂肪酸有关,而投喂鲱鱼油饲料的鱼体肌肉中则是n-3族脂肪酸含量最高,也间接说明了n-3族HUFA是鱼类生长和维持正常生理机能的必需脂肪酸,而加州鲈从n-6脂肪酸合成n-3脂肪酸的能力相对不足或缺乏。

一般来说,利用植物油替代鱼油会导致饲料中n-3族HUFA含量的不足,同时18碳脂肪酸(油酸、亚油酸和亚麻酸)含量上升。在欧洲鲈饲料中利用菜籽油、亚麻油和橄榄油分别部分替代60%鱼油,发现菜籽油和亚麻油组鱼体增重量略有下降,而橄榄油组则下降明显(相比全鱼油组下降8.4%),饲料中添加植物油导致鱼体脂肪沉积量上升,但是EPA和DHA含量却显著下降,亚麻酸和亚油酸含量显著上升<sup>[29]</sup>。加州鲈饲料中添加的n-3/n-6脂肪酸的比例从0.1~1.0之间对鱼体生长都不会带来显著影响,意味着不同来源的脂肪均可用于加州鲈饲料,但是当投喂n-3/n-6比例为2.4的饲料时,加州鲈的增重率显著提高,而饲料中高含量的脂肪则能够提供充分的能量,从而节约蛋白,有利于机体蛋白质的沉积<sup>[22]</sup>。

综合文献报道,加州鲈对饲料中脂质的含量需求在10%~15%,高含量的脂质可以提供充分的能量,从而节约蛋白,促进鱼体快速生长,但是也可能导致脂质在鱼体肌肉、肝脏和腹腔中的大量累积。相对来说,鱼油是加州鲈配合饲料最佳的脂质来源,其它油脂如鸡油、菜籽油和亚麻油均能部分替代鱼油,而不会对鱼体生长带来显著的影响。此外,饲料中油脂发生氧化会导致加州鲈体内过氧化物的不断累积,过氧化物通过物理键和共价键与蛋白质形成复合物,氧化产物和蛋白质之间的共价键会破坏氨基酸如色氨酸、赖氨酸和蛋氨酸的空间结构,从而导致这些氨基酸的可利用性变差,从而对鱼体生长和健康带来严重的负

面影响,添加适量的VE和硒能够一定程度上减缓氧化鱼油带来的危害<sup>[30-31]</sup>。

#### 4 加州鲈饲料碳水化合物营养

1998年冬天,众多加州鲈养殖户饲养的加州鲈在上市销售或者即将上市的时候,遭遇了大规模的死亡,对死鱼进行解剖检测没有发现细菌和病毒感染,也没有发现严重的寄生虫病,但是它们的肝脏都呈现出白色,并且在肝脏实质组织的表面或内部都发现了3~10 mm的粉红色半透明的结节。对肝脏进行组织学检测分析发现这些结节中肝实质细胞数量很少,呈现出慢性的炎症反应,并检测出了嗜酸性粒细胞、胰岛和胆管细胞以及肉芽肿等,但是分枝杆菌染色没有表现出阳性。这些粉红色结节的诱因可能是多方面的,但是对池塘养殖加州鲈持续性的实验研究表明,它们肝脏细胞中糖原的大量累积可能是造成这一器官坏死的最主要因素<sup>[32]</sup>。当在饲料中添加35%、27%和21%的碳水化合物,肝糖原含量随着饲料中碳水化合物含量的下降而显著下降,说明饲料碳水化合物含量直接影响到糖类在肝脏中的累积<sup>[32]</sup>。

淡水鱼类特别是肉食性鱼类,通常被认为具有葡萄糖不耐受性,当食物中含有过多的糖类物质时,它们体内就会长时间维持在高血糖状态,一般认为淡水鱼体内缺乏胰岛素,从而导致其糖代谢能力非常弱。但是也有研究认为鱼体并不缺乏胰岛素,而是缺少相应的胰岛素受体或胰岛素受体功能不全。在加州鲈中,饲料中碳水化合物含量超过20%时就会导致肝脏细胞中糖类物质的大量积累,并出现高血糖症,严重时会导致肝脏功能异常、生长缓慢甚至死亡率也会随之上升。

在加州鲈饲料中分别添加13%、19%和25%的糖类,饲养148 d之后发现加州鲈存活率和增重率均随着饲料中糖水平的升高而出现显著下降,饲料中高含量的糖类同样也使得饲料系数和血糖含量显著上升,并导致鱼体肝脏发生病变,肝脏组织中出现大量空泡<sup>[33]</sup>。因此,加州鲈饲料中糖类含量低于20%对鱼体生长和健康的影响较小,而过高的糖类含量则会导致鱼体生长减缓、死亡率提高及肝脏病变的发生。

食物中糖/脂比(CHO/LIP)也会影响到加州鲈生长及脑垂体GH、肝脏IGF-I和组织胰岛素mRNA的表达量,其中SGR在CHO/LIP为0.32(相当于饲料中含有4.57%的糖类和14.13%的脂类)时显著高于其它各组,随着CHO/LIP比例的上升SGR出现显著下降趋势,而脑垂体GH和组织胰岛素mRNA表达量随着CHO/LIP比例从0.32上升到2.36而显著上升,而肝脏IGF-I mRNA表达量则刚好相反,出现显著下降<sup>[25]</sup>。

说明肝脏IGF-I的分泌量可能与加州鲈生长速度呈正相关,CHO/LIP的升高会抑制肝脏IGF-I mRNA的表达量从而导致IGF-I的合成量下降。

从相关文献报道来看,人工配合饲料喂养加州鲈后期出现的花肝、白肝等肝脏病变症状可能主要是由饲料中碳水化合物的含量过高而导致的,饲料蛋白含量或来源的差异以及饲料脂质含量的差异对肝脏病变的影响相对较小。肉食性鱼类对碳水化合物的利用效率极低,食物中过量的碳水化合物会导致鱼体血糖含量持续上升,最终在肝脏累积,侵蚀肝脏实质细胞,导致肝脏功能出现障碍,因此在加州鲈饲料配制过程中应当严格控制糖类的含量。

#### 5 纤维素营养

鱼类的消化道不分泌纤维素酶,配合饲料中的纤维素只作为填充物或载体,起帮助消化和吸收其它营养物质的作用。肉食性鲈鱼消化道中纤维素酶活性极低,不能分解纤维素,纤维素偏高在某种程度上可能反而会起到负面作用。研究发现,蛋白质效率在纤维素含量高于4.5%时迅速下降,饲料系数则与蛋白质效率相反,饲料中纤维素含量从2.5%上升到4.5%,蛋白质表观消化率随之从97%下降到85%,表明饲料中纤维素水平对蛋白质效率、表观消化率和饲料系数都有一定影响<sup>[16]</sup>。饲料中作为填充物或载体的纤维含量如果超过其需要量,就会起到阻碍蛋白质消化利用、减缓生长速度的反作用。而对于加州鲈配合饲料中最佳纤维素含量的研究,目前尚未见有针对性的研究报告,需要作进一步的研究。

#### 6 小结

加州鲈是当前养殖量不断扩大的名优养殖品种,目前加州鲈已逐步实现高密度和规模化养殖,但是由于其营养需求、消化吸收和代谢机制的研究相对缺乏,人工配合饲料的研制也一直未能取得重大突破。因此至今,加州鲈的养殖还是以直接投喂冰鲜杂鱼为主,或者在幼鱼阶段投喂冰鲜鱼,成鱼阶段则采取冰鲜鱼和配合饲料间歇投喂的方法进行喂养。投喂冰鲜鱼不仅污染水质,而且容易带入病菌,而冰鲜鱼资源的有限也为加州鲈养殖规模的扩大带来了极大的制约。人工配合饲料喂养加州鲈后期会出现生长停滞、肝脏病变和疾病频发的问题,虽然众多生产饲料厂家长期进行加州鲈饲料营养的研发和推广,也取得了一定的突破,但是市场对人工配合饲料的接受程度仍然相对较低。因此,随着我国加州鲈养殖产业的不断发展,有必要对加州鲈营养需求展开更深入的研究并进一步优化饲料营养配方,人工配合饲料取代冰鲜

鱼也将是加州鲈养殖产业发展的必经之路。

#### 参考文献

- [1] Brown T G, Runciman B, Pollard S, et al. Biological synopsis of largemouth bass(*Micropterus salmoides*) [J]. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci., 2009, 2884: 1-27.
- [2] 李静红,雷光英,李雨雪,等. 广东加州鲈产业现状及发展建议[J]. 水产养殖, 2012(9): 21-24.
- [3] Scott W B, Crossman E J. Freshwater Fishes of Canada[J]. Fish. Res. Board Can. Bull., 1973, 184: 966.
- [4] Moyle P B. Inland Fishes of California[M]. Los Angeles, Calif.: Univ. Calif. Press, 2002: 502.
- [5] Venables B J, Fitzpatrick L D, Pearson W D. Laboratory measurement of preferred body temperature of adult largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Hydrobiol., 1978, 58: 33-36.
- [6] Stuber R J, Geghart G, Manghan O E. Habitat suitability index models: Largemouth bass[M]. U.S. Dept Int. Fish Wild. Serv., 1982: 32.
- [7] Kelley J W. Effects of incubation temperatures on survival of largemouth bass eggs[J]. Prog. Fish-Cult., 1968, 30: 159-163.
- [8] Clugston J P. Growth of the Florida largemouth bass *Micropterus salmoides floridanus* (Lesueur), and northern largemouth bass, *M. salmoides* (Lacepede), in subtropical Florida[J]. Trans. Am. Fish. Soc., 1964, 93: 146-154.
- [9] Kramer R H, Smith L L. First-year growth of the largemouth bass, *Micropterus salmoides* (Lacepede), and some related ecological factors[J]. Trans. Am. Fish. Soc., 1960, 89: 222-233.
- [10] Strawn K. Growth of largemouth bass fry at various temperatures [J]. Trans. Am. Fish. Soc., 1961, 90: 334-335.
- [11] Coutant C C, Cox D K. Growth rates of subadult largemouth bass at 24 to 35 °C [C]. Thermal Ecology II Proceedings of a symposium held at Augusta Georgia, 1976: 118-120.
- [12] Stroud R H. Water quality criteria to protect aquatic life: a summary[J]. Am. Fish. Soc. Spec. Publ., 1967, 4: 33-37.
- [13] Anderson R J, Kienholz E W, Flichinger S A. Protein requirements of smallmouth bass and largemouth bass[J]. J. Nutr., 1981, 111: 1085-1097.
- [14] Tidwell J H, Webster C D, Coyle S D. Effects of dietary protein level on second year growth and water quality for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) raised in ponds[J]. Aquaculture, 1996, 145: 213-223.
- [15] Brian J B, David H W, Michael L H. Growth, Survival, and Body Composition of Largemouth Bass Fed Various Commercial Diets and Protein Concentrations[J]. The Progressive Fish-Culturist, 1996, 58(2): 104-110.
- [16] 钱国英. 饲料中不同蛋白质、纤维素、脂肪水平对加州鲈鱼生长的影响[J]. 动物营养学报, 2000, 12(2): 48-52.
- [17] Protz L, Cyrino J E P, Martino R C. Growth and body composition of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* in response to dietary protein and energy levels[J]. Aquaculture Nutrition, 2001, 7: 247-254.
- [18] Portz L, Cyrino J E P. Digestibility of nutrients and amino acids of different protein sources in practical diets by largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepede, 1802) [J]. Aquaculture Research, 2004, 35(4): 312-320.
- [19] 王新霞. 发酵豆粕替代鱼粉在加州鲈饲料中的研究[J]. 新饲料, 2009(1): 58-61.
- [20] Kubitzka F, Lovshin L L, Lovell R T. Identification of feed enhancers for juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* [J]. Aquaculture, 1997, 148: 191-200.
- [21] Subhadra B, Lochmann R, Rawles S, et al. Effect of fish-meal replacement with poultry by-product meal on the growth, tissue composition and hematological parameters of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed diets containing different lipids[J]. Aquaculture, 2006, 260(1/4): 221-231.
- [22] Subhadra B, Lochmann R, Rawles S, et al. Effect of dietary lipid source on the growth, tissue composition and hematological parameters of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Aquaculture, 2006, 255(1/4): 210-222.
- [23] Tidwell J H, Coyle S D, Bright L A, et al. Evaluation of plant and animal source proteins for replacement of fish meal in practical diets for the largemouth bass *Micropterus salmoides* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(4): 454-463.
- [24] 钱国英. 加州鲈常用饲料原料的可利用氨基酸研究[J]. 动物营养学报, 2001, 13(2): 43-46.
- [25] Chen N S, Jin L N, Zhou H Y, et al. Effects of dietary arginine levels and carbohydrate-to-lipid ratios on mRNA expression of growth-related hormones in largemouth bass, *Micropterus salmoides* [J]. General and Comparative Endocrinology, 2012, 179(1): 121-127.
- [26] Coyle S D, Tidwell J H, Webster C D. Response of Largemouth Bass *Micropterus Salmoides* to Dietary Supplementation of Lysine, Methionine, and Highly Unsaturated Fatty Acids[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2000, 31(1): 89-95.
- [27] 吕光俊. 几种氨基酸对加州鲈幼鱼趋向行为影响的观察与分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2001, 20: 142-145.
- [28] Bright L A, Coyle S D, Tidwell J H. Effect of dietary lipid level and protein energy ratio on growth and body composition of largemouth bass *Micropterus salmoides* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(1): 129-134.
- [29] Mourente G, Good J E, Bell J G. Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects on flesh fatty acid composition, plasma prostaglandins E-2 and F-2 alpha, immune function and effectiveness of a fish oil finishing diet[J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11(1): 25-40.
- [30] Chen Y J, Liu Y J, Yang H J, et al. Effect of dietary oxidized fish oil on growth performance, body composition, antioxidant defence mechanism and liver histology of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* [J]. Aquaculture Nutrition, 2012, 18(3): 321-331.
- [31] Chen Y J, Liu Y J, Tian L X, et al. Effect of dietary vitamin E and selenium supplementation on growth, body composition, and antioxidant defense mechanism in juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoide*) fed oxidized fish oil[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2013, 39(3): 593-604.
- [32] Goodwin A E, Lochmann R T, Tieman D M, et al. Massive hepatic necrosis and nodular regeneration in largemouth bass fed diets high in available carbohydrate[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2002, 33(4): 466-477.
- [33] Amoah A, Coyle S D, Webster C D, et al. Effects of graded levels of carbohydrate on growth and survival of largemouth bass, *Micropterus salmoides* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2008, 39(3): 397-405.

(编辑:沈桂宇,guiyush@126.com)