

陈春秀,尚晓迪,马超,等. 纳米硒对半滑舌鲷幼鱼生长、体成分组成和硒含量的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):180-183.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.046

纳米硒对半滑舌鲷幼鱼生长、体成分组成和硒含量的影响

陈春秀², 尚晓迪¹, 马超¹, 戴媛媛¹, 贾磊¹, 白东清²

(1. 天津渤海水产研究所, 天津 300457; 2. 天津农学院水产学院/天津市水产生态及养殖重点实验室, 天津 300384)

摘要:选取初始体质量(120.45±0.45)g的半滑舌鲷幼鱼360尾,分成6组,每组3个重复,每个重复20尾鱼,分别投喂不同含量纳米硒的饲料[0(对照组)、0.4、0.8、1.6、2.0、2.4 mg/kg],投喂60 d,探讨饲料中不同水平纳米硒对半滑舌鲷生长、体成分组成和硒含量的影响。结果表明:(1)当纳米硒的添加量为0.8 mg/kg时,末均体质量、增质量率和特定生长率均显著高于其他试验组($P < 0.05$),蛋白质效率显著高于0.2、0.4 mg/kg组,饲料系数达到最低;各组的肝体比和肥满度无显著差异($P > 0.05$)。(2)半滑舌鲷幼鱼肝胰脏、肌肉及全鱼中硒含量随饲料中纳米硒含量的增加呈线性增加,且硒在鱼体各部位的沉积顺序为全鱼>肝胰脏>肌肉;全鱼体成分中各试验组水分、粗蛋白质、粗脂肪和灰分无显著差异。综合生长性能、体成分组成和体内硒含量来分析,纳米硒的适宜添加水平为1.6 mg/kg(总硒量为3.56 mg/kg)。

关键词:纳米硒;半滑舌鲷幼鱼;生长;营养组成;硒含量

中图分类号: S963.73⁺4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0180-04

半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis*)属于鲽形目舌鲷科舌鲷属,俗称龙利、鲷米、牛舌头,为我国近海常见的暖温性大型底

层鱼类,主要分布于渤海、黄海水域^[1]。半滑舌鲷生长速度快,肉质细腻,味道鲜美,是一种经济价值很高且有一定养殖推广前景的名贵海水鱼类^[2]。

硒是动物体必需的微量元素之一,具有抗氧化、提高免疫力、促生长和提高肉质等功能^[3]。硒在最佳浓度和致毒浓度之间的安全限度非常狭窄,因此开发低毒、高效的硒源一直是硒营养研究的重点。纳米硒是一种利用纳米技术制备而成的新型研制品,以蛋白质为核、红色元素硒为膜和以蛋白质为分散剂的纳米级别的无机单质硒,粒径一般在80 nm以内^[4]。它具有安全浓度宽、吸收效率高、生物活性强、环境污染小等优点,在动物养殖生产中的使用前景十分广阔。目前研究表

收稿日期:2018-01-20

基金项目:国家海水鱼产业技术体系(编号:CARS-47-Z01);现代产业技术体系(编号:ITFRS2017011);天津市农业科技成果转化与推广项目(编号:201703050);天津市水产局青年科技创新项目(编号:J2017-04)。

作者简介:陈春秀(1994—),女,安徽灵璧人,硕士,助理工程师,从事水产动物营养与饲料学研究。E-mail:xiuxiuchenxx@163.com。

通信作者:白东清,博士,教授,硕士生导师,主要从事水产动物营养与饲料学研究。E-mail:445425696@qq.com。

指标的影响[D]. 天津:天津农学院,2011.

[9]王卓,么宗利,林听听,等. 碳酸盐碱度对青海湖裸鲤幼鱼肝和肾SOD、ACP和AKP酶活性的影响[J]. 中国水产科学,2013,20(6):1212-1218.

[10]Winston G W, Di Giulio R T. Prooxidant and antioxidant mechanisms in aquatic organisms[J]. Aquatic Toxicology, 1991, 19(2): 137-161.

[11]王奇,范灿鹏,陈锬慈,等. 三种磺胺类药物对罗非鱼肝脏组织中谷胱甘肽转移酶(GST)和丙二醛(MDA)的影响[J]. 生态环境学报,2010,19(5):1014-1019.

[12]刘协,胡启之,李小宁,等. 松花粉的抗疲劳作用研究[J]. 中国生化药物杂志,2004,25(3):169.

[13]周晓丽,邵震,李婷婷,等. 木瓜黄酮的提取及抗氧化性研究[J]. 食品工业科技,2007(8):170-172.

[14]王芳,乔璐,淡小艳,等. 桑叶黄酮的提取及抗氧化研究[J]. 广东农业科学,2011(15):76-79.

[15]张瞰,竹剑平. 破壁松花粉对调节免疫功能的影响[J]. 中国医院药学杂志,2006,26(5):638-639.

[16]回晶,林家帅,李天翼,等. 松花粉黄酮提取物体外抗氧化作用的研究[J]. 辽宁大学学报(自然科学版),2014,41(3):282-285.

[17]赵立新,喻陆. 松花粉对小鼠抗衰老的研究[J]. 湖北中医医药学报,2004,6(1):8-9.

[18]卢彤岩,郭德文,赵吉伟,等. 哲罗鱼不同组织SOD、CAT、ACP和AKP活力的比较研究[J]. 水产学杂志,2010,23(4):10-13.

[19]黄斌,黄勇,汪利. 日粮添加茺菘对红色草金鱼生长及体色的影响[J]. 水产科学,2011,30(10):617-620.

[20]美国科学院国家研究委员会. 鱼类与甲壳类营养需要[M]. 北京:科学出版社,2015:358.

[21]张玉英,潘建新,龚珊. 黑松花粉对豚鼠离体肠道平滑肌活动的影响[J]. 苏州大学学报(医学版),2002,22(2):147-149.

[22]赵霖, Windisch W, Roth F X, 等. 松花粉对家猪粪便特性及肠道菌群的影响[J]. 营养学报,2006,28(3):240-243.

[23]罗辉. 维生素E对幼鲤消化功能和免疫功能的影响[D]. 雅安:四川农业大学,2006:68.

明,在饲料中添加纳米硒对尼罗罗非鱼^[5]、鲤鱼^[6]、草鱼^[7]、团头鲂^[8]、异育银鲫^[9]、青鳉^[10]和中华绒螯蟹^[11]等具有促进生长、降低饵料系数、提高蛋白质合成效率、提高硒在体内的沉积率、增强免疫力等作用。纳米硒在海水鱼中应用还未见报道,基于此,本试验在饲料中添加纳米硒,探讨其对促进半滑舌鲷生长、体成分组成和硒含量等方面的作用,以期探讨出纳米硒在半滑舌鲷饲料中适宜的添加量,为配制半滑舌鲷用预混料提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 试验饲料 饲料原料采购及加工均在天津市天祥水产有限责任公司进行。原料经粉碎机粉碎后,过60目筛,混匀加水,用江苏牧羊集团牧羊 MUZLM V4 型饲料制粒机加工成粒径为2 mm的沉性颗粒饲料,室温下于通风处晾干2 h,保存于-20℃冰箱中待用。

基础饲料配方为鱼粉60%、血浆蛋白4%、豆粕11%、鱼油1.5%、豆油1.5%、淀粉13%、酵母3%、虾粉2%、黏合剂1%、维生素预混料1%、矿物质预混料2%。饲料常规成分含量为粗蛋白55.99%、粗脂肪7.32%、水分7.23%、粗灰分14.43%。

矿物质预混料为Ca(H₂PO₄)·H₂O 14 673.37 mg/kg、ZnSO₄·7H₂O 65.97 mg/kg、CuSO₄·5H₂O 10.61 mg/kg、FeSO₄·7H₂O 109.54 mg/kg、KI 32.7 mg/kg、CoCl₂·6H₂O 0.2 mg/kg、MnSO₄·H₂O 24.61 mg/kg。

维生素预混料为维生素A 2 400 IU/kg、维生素C 2 700 IU/kg、维生素D 6 600 IU/kg、维生素E 675 IU/kg、维生素B₂ 55 mg/kg、维生素B₆ 15 mg/kg、维生素B₁ 4 mg/kg、维生素K 3 mg/kg、叶酸25 mg/kg、DL-泛酸钙60 mg/kg、烟酸220 mg/kg、维生素B₁₂ 0.27 mg/kg、肌醇1 000 mg/kg、生物素13.5 mg/kg、胆碱10 g/kg。

纳米硒由广州博士奥集团提供,纯度为0.5%。在基础饲料中分别添加0、0.4、0.8、1.6、2.0、2.4 mg/kg的纳米硒,从而配制出6种试验饲料(基础饲料组不添加纳米硒)。试验饲料中硒的总含量分别为1.38、1.67、2.09、3.56、4.23、4.62 mg/kg。

1.1.2 试验鱼 360尾半滑舌鲷购自天津市海发珍品实业发展有限公司,体质健壮,规格整齐,平均体质量为(120.45±0.45)g。

1.2 试验方法

1.2.1 试验鱼分组及管理 将试验鱼随机分为6组,每组3个重复,每个重复20尾。用基础饲料驯饲5 d,待试验鱼能较好地摄食后,正式进行试验。饲养于天津渤海水产研究所品字形控温可循环系统中,试验期间水温为(20±0.5)℃,盐度2‰,溶解氧含量大于8.00 mg/L,亚硝酸盐含量小于0.05 mg/L,氨氮含量小于0.10 mg/L。每日投喂2次(09:30、15:30),投饲率1%左右。每天观察试验鱼状况,记录死鱼数目与摄食情况,依据摄食情况及时调节饲料投喂量。试验周期为60 d。

1.2.2 样品采集 连续喂食60 d后,将试验鱼饥饿24 h后称质量取样,每箱随机取10尾鱼,MS-222麻醉后测量体长、

体质量。冰盘上解剖取其肝胰脏、背肌,其中3尾用于测定全鱼营养成分,-80℃保存。

1.2.3 生长指标的测定 测量体长、体质量,用于测定和计算增质量率、特定生长率、饵料系数、蛋白质效率、肥满度、肝体比。

增质量率(WGR,%)=(平均终末体质量-平均初始体质量)/平均初始体质量×100%;

特定生长率(SGR,%/d)=100×(ln终末均质量-ln初始均质量)/养殖周期;

饵料系数(FCR)=摄取的饲料总质量/(终末总体质量+死亡鱼总质量-初始鱼总体质量);

蛋白质效率(PER)=(终末鱼总体质量-初始鱼总体质量)/总投饲量×饲料蛋白质含量;

肝体比(HSI,%)=肝脏质量/体质量×100%;

肥满度(CF,%)=体质量/体长³×100%。

1.2.4 试验鱼、饲料常规成分测定 水分用105℃常压恒温烘干法(GB/T 5009.3—2010)测定,粗蛋白质含量测定采用凯氏定氮法(GB/T 5009.5—2010),粗脂肪含量测定采用索氏抽提法(GB/T 5009.6—2010),粗灰分用550℃高温灼烧法(GB/T 5009.4—2010)测定。

1.2.5 硒含量的测定 使用Agilent 7700x ICP-MS电感耦合等离子体质谱仪测定饲料、肝胰脏、肌肉和全鱼中的硒含量。

1.2.6 数据分析 试验所得数据均采用“平均值±标准差($\bar{x} \pm s$)”表示,用SPSS 20.0软件对数据进行统计学分析,先将数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA, LSD),差异显著($P < 0.05$)的用Duncan's法作多重比较。

2 结果

2.1 纳米硒对半滑舌鲷幼鱼生长性能、形体指标及饲料利用的影响及纳米硒的需要量

2.1.1 纳米硒对半滑舌鲷幼鱼生长性能、形体指标及饲料利用的影响 由表1可知,随着饲料中纳米硒含量的增加,半滑舌鲷幼鱼末均体质量、增质量率和特定生长率均呈现先上升后下降再上升的变化趋势,且均显著高于对照组($P < 0.05$),其中以0.8 mg/kg组最高,显著高于其他纳米硒添加组。当饲料中纳米硒含量从0.4 mg/kg增加至2.4 mg/kg时,半滑舌鲷幼鱼的饲料系数先下降后升高,0.8 mg/kg和1.6 mg/kg组饲料系数显著低于对照组,其中最小值出现在0.8 mg/kg组。蛋白质效率也随着纳米硒添加量的增加呈现先升高后下降再升高的变化趋势,其中0.8 mg/kg和1.6 mg/kg组蛋白质效率显著高于对照组,最高值出现在0.8 mg/kg组,其余各组之间变化不大($P > 0.05$)。各组的肝体比和肥满度无显著差异。可见,从提高生长性能和饲料利用率方面来看,0.8 mg/kg纳米硒水平(总硒量为2.09 mg/kg)效果最好,1.6 mg/kg纳米硒水平(总硒量为3.56 mg/kg)次之。

2.1.2 纳米硒的需要量 将饲料中纳米硒添加量设为自变量(x),每组增质量率设为因变量(y),进行折线回归性分析(图1)。增质量率达到最佳值时,纳米硒的最适添加量为1.82 mg/kg。

2.2 纳米硒对半滑舌鲷幼鱼体组成的影响

由表2可知,各组半滑舌鲷幼鱼全鱼水分含量在

表1 纳米硒对半滑舌鲷幼鱼生长性能、形体指标及饲料利用的影响

纳米硒添加量 (mg/kg)	初均体质量 (g)	末均体质量 (g)	增质量率 (%)	特定增长率	饲料系数	蛋白质效率	肝体比 (%)	肥满度 (%)
0(对照组)	120.31 ± 0.50	135.00 ± 0.43c	12.21 ± 0.19c	0.19 ± 0.00c	1.91 ± 0.03c	0.98 ± 0.01c	0.69 ± 0.10	0.54 ± 0.04
0.4	120.76 ± 0.10	144.93 ± 3.75b	20.01 ± 3.21b	0.30 ± 0.04b	1.62 ± 0.18abc	1.20 ± 0.19abc	0.66 ± 0.04	0.55 ± 0.04
0.8	120.62 ± 1.02	153.65 ± 3.11a	27.41 ± 3.38a	0.40 ± 0.04a	1.22 ± 0.15a	1.48 ± 0.17a	0.71 ± 0.04	0.57 ± 0.02
1.6	120.55 ± 0.52	144.21 ± 4.10b	19.63 ± 3.58b	0.30 ± 0.05b	1.38 ± 0.24ab	1.32 ± 0.24ab	0.66 ± 0.05	0.55 ± 0.02
2.0	120.20 ± 0.13	141.30 ± 1.70b	17.56 ± 1.53b	0.27 ± 0.02b	1.52 ± 0.13abc	1.18 ± 0.10bc	0.74 ± 0.13	0.54 ± 0.02
2.4	120.15 ± 0.17	145.73 ± 1.74b	21.29 ± 1.30b	0.32 ± 0.02b	1.57 ± 0.10bc	1.22 ± 0.20bc	0.63 ± 0.08	0.53 ± 0.01

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

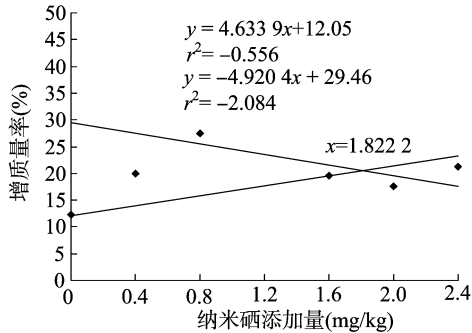


图1 纳米硒添加水平与增质量率的回归分析

77.97% ~ 78.63% 之间,粗蛋白质占鲜样的百分比在 15.96% ~ 16.55% 之间,粗脂肪占鲜样的百分比在 2.02% ~ 2.25% 之间,灰分占鲜样的百分比在 2.62% ~ 2.76% 之间,其中 0.8 mg/kg 组粗蛋白质含量最高,2.4 mg/kg 组粗脂肪含量最低,但各组之间体成分差异不明显。

2.3 纳米硒对半滑舌鲷幼鱼肝胰脏、肌肉和全鱼中硒含量的影响

由表 3 可知,半滑舌鲷肝胰脏、肌肉和全鱼中的硒含量随饲料中纳米硒含量的增加呈上升趋势,且最大值均出现在 2.4 mg/kg 组。纳米硒添加量超过 1.6 mg/kg 后,半滑舌鲷肝胰脏中硒含量显著高于对照组。纳米硒添加量趋于 2.0 mg/kg

表2 纳米硒对半滑舌鲷幼鱼体组成的影响

纳米硒添加量 (mg/kg)	含量(%)			
	水分	粗蛋白质	粗脂肪	灰分
0(对照组)	77.99 ± 0.53	15.96 ± 0.87	2.90 ± 0.17	2.63 ± 0.35
0.4	77.97 ± 0.58	16.49 ± 0.76	2.02 ± 0.46	2.76 ± 0.18
0.8	78.33 ± 0.70	16.55 ± 0.72	2.11 ± 0.15	2.62 ± 0.09
1.6	78.17 ± 0.56	16.38 ± 0.71	2.08 ± 0.39	2.68 ± 0.06
2.0	78.15 ± 0.30	15.99 ± 0.42	2.31 ± 0.60	2.75 ± 0.03
2.4	78.63 ± 0.61	16.16 ± 0.62	1.91 ± 0.44	2.63 ± 0.18

表3 纳米硒对半滑舌鲷幼鱼肝胰脏、肌肉和全鱼中硒含量的影响

纳米硒添加量 (mg/kg)	含量(mg/kg)		
	肝胰脏	肌肉	全鱼
0(对照组)	0.83 ± 0.04c	0.19 ± 0.01c	1.06 ± 0.04c
0.4	0.89 ± 0.09bc	0.20 ± 0.02bc	1.08 ± 0.06c
0.8	0.93 ± 0.05bc	0.20 ± 0.01bc	1.11 ± 0.07bc
1.6	0.97 ± 0.08ab	0.21 ± 0.02abc	1.18 ± 0.07ab
2.0	1.05 ± 0.06a	0.22 ± 0.01ab	1.22 ± 0.05a
2.4	1.07 ± 0.01a	0.23 ± 0.02a	1.27 ± 0.01a

后,肌肉中硒含量显著高于对照组。全鱼中硒含量随纳米硒添加量增大而增大,纳米硒含量超过 1.6 mg/kg 后全鱼硒含量显著高于对照组。硒在鱼体各部位的沉积顺序为全鱼 > 肝脏 > 肌肉。可见,从体内硒沉积的角度分析,饲料中纳米硒添加量为 2.0 mg/kg(饲料中总硒量为 4.23 mg/kg)时效果最为明显。

3 讨论

3.1 纳米硒对半滑舌鲷幼鱼生长性能、形体指标及饲料利用的影响

硒作为水产动物必需的微量元素之一,可以提高血浆中三碘甲腺原氨酸的水平,促进生长激素合成与分泌,从而加快动物的生长和蛋白质合成^[12];还可以提高消化酶活性,提高

食物的消化吸收率,从而促进生长^[13]。本研究发现,在饲料中添加不同水平的纳米硒投喂半滑舌鲷幼鱼,对促进鱼体的末均体质量、增质量率、特定增长率、降低饲料系数及提高蛋白质效率均有一定的功效。其中,0.8 mg/kg 纳米硒组对半滑舌鲷幼鱼生长性能和饲料利用率效果最佳。但添加不同水平的纳米硒对肝体比和肥满度无显著影响。邓岳松等研究发现,当饲料中硒含量为 0.3 mg/kg 时,亚硒酸钠和蛋氨酸硒对尼罗罗非鱼生长无促进效果,而纳米硒可极显著地促进尼罗罗非鱼的生长^[5]。黄小红等发现,在饲料中添加纳米硒,提高了试验组草鱼末均质量、增质量率、肥满度、特定增长率以及成活率,降低了饵料系数^[7]。Ashouri 等研究发现,在鲤鱼日粮中添加 1 mg/kg 纳米硒能显著提高鲤鱼的生长性能,包

括最终体质量和增质量(WG)^[6]。侍苗苗等研究发现,在中华绒螯蟹饲料中添加0.2 mg/kg 纳米硒时,特定生长率、存活率显著增加,饵料系数达到最低,而且0.2 mg/kg 纳米硒组与1.0 mg/kg 酵母硒组的养殖效果相近^[11]。苏传福等研究发现,日粮硒含量对草鱼的形体指标和肥满度无显著影响,说明硒对草鱼鱼体丰满程度不产生影响^[14]。本研究结果与这些研究结果相一致,说明在饲料中添加纳米硒对水产动物的生长和维持正常生理功能是必要的。

3.2 纳米硒对半滑舌鳎幼鱼体组成的影响

鱼类的营养价值主要取决于其肌肉中的蛋白质和脂肪含量等^[15]。本试验发现,在基础饲料中添加纳米硒对全鱼水分、粗蛋白质含量、粗脂肪含量和灰分含量虽无显著影响,但0.8 mg/kg 组粗蛋白含量最高,2.4 mg/kg 组粗脂肪含量达到最小值,一定程度上反映出硒可以提高蛋白质合成,减少体脂沉积。苏传福等发现,在日粮中添加0.66 mg/kg 硒能显著提高草鱼蛋白含量,降低其脂肪含量,对草鱼营养成分有优化作用^[14]。侍苗苗等研究发现,和不加纳米硒的对照组相比,添加0.2 mg/kg 纳米硒组能显著提高中华绒螯蟹的粗蛋白含量^[11]。储霞玲发现,在南美白对虾饲料中添加适量硒能显著提高对虾的体蛋白含量,但对体脂含量影响不显著^[16]。龙萌等也发现,酵母硒和茶多酚均能够通过提高粗蛋白含量改善团头鲂肌肉营养品质^[17]。本试验结果与这些研究结果存在一定差异,这可能与试验鱼种类和规格、硒添加方式和水平、养殖环境不同有关,具体机制有待进一步研究。

3.3 纳米硒对半滑舌鳎幼鱼肝脏、肌肉和全鱼中硒含量的影响

纳米硒具有独特的性能,它与动物机体细胞膜具有更高效的相互作用界面,使黏膜通透性增加,促进动物吸收^[18]。半滑舌鳎幼鱼组织的硒含量随纳米硒添加水平的升高而增加,当纳米硒添加量达到1.6~2.4 mg/kg 时,组织中硒含量提高趋于平缓。说明当硒达到一定浓度时,半滑舌鳎幼鱼对硒的沉积率减弱。本试验同时还发现,半滑舌鳎幼鱼肌肉硒含量明显低于全鱼和肝脏硒含量,组织中肝脏硒含量最高,说明半滑舌鳎幼鱼硒的主要蓄积部位在肝脏。Liu 等研究发现,军曹鱼的脊椎骨和全鱼硒含量随着饲料硒添加量的增加而逐渐升高,当饲料硒水平分别达到0.793、0.811 mg/kg 时趋于稳定^[19],本研究结果可以与Liu 等的研究结果相互印证。Lin 等发现,点带石斑鱼全鱼硒含量随饲料硒添加量的增加而逐渐升高,且当饲料硒含量为4 mg/kg 时,肝脏中硒含量最高^[20]。在其他鱼类的研究中也发现了这种现象。Elia 等对鲤鱼的研究发现,在投喂硒含量为0.25、1 mg/kg 的饲料60 d 后,硒含量为1 mg/kg 的饲料对应鲤肾脏中有最高的硒累积量^[21]。在肾脏、肝脏和肌肉这3个组织中累积硒的能力依次为肾脏>肝脏>肌肉。

4 结论

综上所述,在半滑舌鳎幼鱼饲料中纳米硒最适宜添加量为1.6 mg/kg(总硒含量为3.56 mg/kg)。饲料中添加纳米硒能够促进半滑舌鳎幼鱼生长,提高增质量率、特定生长率和蛋白质效率,降低饵料系数,加快蛋白质合成效率。并且作为富硒产品,半滑舌鳎能够为人体有效地补充硒和蛋白质,促进人

体生长发育。

参考文献:

- [1] 柳学周,庄志猛,马爱军,等. 半滑舌鳎繁殖生物学及繁育技术研究[J]. 渔业科学进展,2005,26(5):7-14.
- [2] 房景辉,田相利,姜海滨,等. 不同循环投喂模式对半滑舌鳎的生长、体成分组成、代谢和能量收支的影响[J]. 水产学报,2011,35(7):1090-1097.
- [3] 张劲松,高学云,张立德,等. 蛋白质分散的纳米红色元素硒的延缓衰老作用[J]. 营养学报,2000,22(3):219-222.
- [4] 王亮,单安山. 纳米硒在动物营养中的研究进展[J]. 中国畜牧兽医,2011,38(4):38-42.
- [5] 邓岳松,陈权军. 纳米硒对尼罗罗非鱼生长的影响[J]. 当代水产,2003,28(6):28-30.
- [6] Ashouri S, Keyvanshokoh S, Salati A P, et al. 日粮不同水平的纳米硒对鲤鱼生长性能、肌肉组成、血液生化指标和抗氧化水平的影响[J]. 饲料博览,2015(6):13.
- [7] 黄小红,曹岩,江俊勇,等. 饲料中添加纳米硒对草鱼生长性能、免疫器官指数和抗氧化性能的影响[J]. 中国饲料,2017(16):30-34.
- [8] 刘广霞,蒋广震,鲁康乐,等. 饲料硒对团头鲂生长、组织硒含量、肌肉组成及肉品质的影响[C]. 中国水产学会学术年会. 2015.
- [9] 王彦波,宋达峰. 不同来源硒对异育银鲫的生物学效应研究[J]. 饲料工业,2011,32(14):37-40.
- [10] Li H, Zhang J, Wang T, et al. Elemental selenium particles at nano-size (Nano-Se) are more toxic to Medaka (*Oryzias latipes*) as a consequence of hyper-accumulation of selenium; a comparison with sodium selenite[J]. Aquatic Toxicology, 2008, 89(4):251-256.
- [11] 侍苗苗,秦粉菊,袁林喜,等. 纳米硒对中华绒螯蟹生长性能、硒含量和营养组成的影响[J]. 饲料工业,2015,36(10):21-25.
- [12] 金明昌,汪开毓. 不同硒水平对幼鲤生产性能和免疫功能的影响[J]. 中国畜牧杂志,2008,44(5):32-36.
- [13] 李杨,陈永生,吉红,等. 硒在水产养殖中的应用研究进展[J]. 安康学院学报,2014,26(3):82-85.
- [14] 苏传福,罗莉,文华,等. 硒对草鱼生长、营养组成和消化酶活性的影响[J]. 上海海洋大学学报,2007,16(2):124-129.
- [15] 周礼敬,沈东霞,詹会祥. 鱼类肌肉营养成分与人体健康研究[J]. 畜牧与饲料科学,2013,34(5):69-71.
- [16] 储霞玲. 硒和谷胱甘肽联合作用对凡纳滨对虾生长及抗氧化功能的影响[D]. 广州:中山大学,2009.
- [17] 龙萌,侯杰,苏玉晶,等. 酵母硒和茶多酚对团头鲂幼鱼生长和生长轴基因表达、营养品质及抗病力的影响[J]. 水产学报,2015,39(1):97-107.
- [18] 曲湘勇,蔡超,何俊,等. 酵母硒和纳米硒对鹌鹑产蛋后期生产性能、蛋品质、蛋中硒含量及血清抗氧化指标的影响[J]. 动物营养学报,2014,26(3):732-738.
- [19] Liu K, Wang X J, Ai Q H, et al. Dietary selenium requirement for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L. [J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 19(4):461-467.
- [20] Lin Y H, Shiao S Y. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus* [J]. Aquaculture, 2005, 250(1/2):356-363.
- [21] Elia A C, Prearo M, Pacini N, et al. Effects of selenium diets on growth, accumulation and antioxidant response in juvenile carp [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2011, 74(2):166-173.