

史振鹏,王爱民,刘 波,等. 克氏原螯虾对 6 种蛋白饲料的常规营养成分和氨基酸的表观消化率[J]. 江苏农业科学,2020,48(7):189-193.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.035

克氏原螯虾对 6 种蛋白饲料的常规营养成分和氨基酸的表观消化率

史振鹏^{1,3}, 王爱民¹, 刘 波², 陈开健³, 刘 飞¹, 杨文平¹, 於叶兵¹, 田红艳¹

(1. 盐城工学院海洋与生物工程学院/江苏省沿海池塘养殖生态重点实验室, 江苏盐城 224051; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏无锡 214081; 3. 湖南农业大学/湖南省特色水产资源利用工程技术研究中心, 湖南长沙 410128)

摘要:对克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)的进口鱼粉、肉粉、虾粉、菜粕、豆粕和花生粕 6 种饲料原料相关蛋白、脂肪和氨基酸的表观消化率进行检测。试验饲料由 70% 基础饲料和 30% 待测饲料原料组成, 添加 0.5% 三氧化二铬(Cr_2O_3)为外源指示剂。选取了平均体质量(23.5 ± 3.84) g 的克氏原螯虾成虾 420 尾, 随机分 7 组(含基础饲料组), 每组 3 个重复, 每重复 20 尾, 投喂试验饲料养殖 8 周, 采用虹吸法收集粪便进行表观消化率测定。结果表明, 饲料总消化率进口鱼粉最高(87.16%), 虾粉最低(65.80%); 粗蛋白表观消化率菜粕最高(91.58%), 虾粉最低(49.03%); 粗脂肪表观消化率肉粉最高(97.54%), 豆粕最低(75.76%)。6 种饲料原料中进口鱼粉、菜粕及肉粉组 17 种氨基酸表观消化率均超过 80%, 其中菜粕组略高于进口鱼粉和肉粉组。研究结果显示, 进口鱼粉、肉粉是克氏原螯虾饲料的优质蛋白源, 菜粕则是较好的植物性蛋白源。

关键词:克氏原螯虾; 三氧化二铬; 蛋白质; 氨基酸; 表观消化率; 营养成分; 饲料

中图分类号: S963.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0189-04

我国拥有世界上最大的水产养殖规模, 水产品在生活中扮演着不可或缺的重要角色。蛋白质是动物所必需的营养物质, 在动物生长发育中起着至关重要的作用。蛋白质的缺乏会降低水产动物生长速度和存活率, 降低免疫力, 但如果蛋白质含量过高则会引起一些营养过剩性疾病并造成养殖水体氨氮超标, 因此研究最适蛋白需求量对克氏原螯虾饲料生产有着至关重要的作用。饲料中主要蛋白来源是鱼粉, 但是由于近几年的环境污染和过度捕捞, 导致鱼粉产量下降以及价格上涨, 面对日益提高的养殖成本, 研究动植物蛋白源替代鱼粉成为当前水产动物营养研究的热门方向^[1]。

克氏原螯虾喜栖息于水草、树枝、石隙等隐蔽

物中, 由于其适应力强, 可生活在环境恶劣、水质较差的水沟、淤泥等地。克氏原螯虾具有同类相食的习性, 在食物不足或密度过大的情况下会发生相互残食现象, 克氏原螯虾食性较杂, 对植物性和动物性饵料均会摄食^[2]。目前, 国内外关于克氏原螯虾饲料蛋白替代的研究还较少, 但是近年来克氏原螯虾产业发展迅猛, 因此迫切需要研制、开发出克氏原螯虾的专用饲料, 以适应该产业的发展需求。Paul 等在澳洲小龙虾幼虾(*Cherax destructor*)不同蛋白源(肉粉、大豆、浮游植物、蜗牛、鱼粉)的研究中发现, 不同蛋白源对澳洲小龙虾的生长率, 增质量率无显著影响, 但甲壳色有显著差异, 以浮游动物为主要蛋白源的饲料组甲壳色更深^[3]。Wan 等以豆粕、添加植酸酶豆粕、膨化豆粕、发酵豆粕为不同蛋白源, 研究对克氏原螯虾幼虾(5.56 ± 0.05) g 生长性能、氮磷排放的影响, 结果显示, 添加了植酸酶的豆粕能提高克氏原螯虾的增重率和特定生长率并且降低氮磷的排放^[4]。Tan 等在豆粕和菜籽粕对克氏原螯虾幼虾的研究中发现, 饲料中替代 338 g/kg 植物蛋白可提高克氏原螯虾幼虾生长性能并补充氨基酸^[5]。本试验选取进口鱼粉、肉粉、虾粉、菜粕、豆粕和花生粕 6 种常规蛋白原料, 测定

收稿日期: 2019-03-05

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金(编号: CARS-48); 江苏省克氏原螯虾产业技术体系项目(编号: JFRS-03); 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(17)2007-01]。

作者简介: 史振鹏(1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 874072606@qq.com。

通信作者: 王爱民, 博士, 教授, 研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: bluesawam@ycit.cn; 刘 波, 博士, 副研究员, 研究方向为水产动物营养与应激饲料。E-mail: liub@ffrc.cn。

克氏原螯虾氨基酸和营养成分的表观消化率,通过比较不同饲料原料克氏原螯虾的表观消化率,筛选克氏原螯虾优质蛋白源,为克氏原螯虾配合饲料的开发提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物及养殖条件

试验用克氏原螯虾[成虾,平均体质量(23.5 ± 3.84) g],购自盐城市盐都某克氏原螯虾养殖场,选择个体健康、无伤残、大小规格一致的个体。

随机将 420 尾试验用虾分为 7 组,每组设 3 个重复,每个重复设 20 尾,分别放在 21 个水族箱中,水族箱长 1.0 m,宽 0.5 m,水深 0.1 m。每个水族箱放置瓦片和 PPR 水管给克氏原螯虾躲避。每天保持不间断增氧,溶解氧>5.0 mg/L,水的 pH 值范围为 7~8。每 3 d 换水 1 次,使用水为经过曝气的自来水。

1.2 试验饲料

基础饲料由进口鱼粉、豆粕、菜粕、虾粉、肉粉、花生粕、血粉、干酒糟、面粉、米糠、玉米、鱼油、豆油、磷酸二氢钙、预混料、黏合剂、食盐、乌贼膏组成。

原料经粉碎机粉碎,过 80 目筛,试验饲料由 70% 基础饲料和 30% 待测饲料原料(进口鱼粉、肉粉、虾粉、豆粕、菜粕、花生粕)组成,并以 0.5% 三氧化二铬(Cr₂O₃)为外源指示剂。试验饲料配方见表 1。

1.3 饲养管理与粪便收集

每日 08:00 和 17:00 投喂 2 次,按照克氏原螯虾体质量的 3%~5% 进行喂食。投喂后等待 1 h 用捞网回收饲料残饵,再等待 3 h 后用虹吸法将粪便收集到之前备好的培养皿内,在烘箱中于 65 ℃ 烘干后放入自封袋,在试验室冰柜中-15 ℃ 冷冻保存,连续收集约 30 d,直到收集到足量的粪样以供生化分析。

1.4 测定指标及方法

饲料原料、饲料和克氏原螯虾粪便样品按照 AOAC 方法^[6]分析样品中水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分含量;饲料和粪便中 Cr₂O₃ 含量采用 Furukawa & Tsukahara 的方法^[7]测定;采用 Biochrom20 型氨基酸自动分析仪^[8]测定 16 种氨基酸(除色氨酸、脯氨酸外),结果见表 2。

基础饲料和试验饲料氨基酸的表观消化率计算公式^[9]:饲料某种营养成分的表观消化率=[1-

表 1 基础饲料的配方

成分	成分比例(%)
进口鱼粉	5.0
国产鱼粉	4.0
豆粕	13.0
菜粕	8.0
棉粕	0.0
肉粉	7.0
花生粕	5.0
血粉	3.0
虾粉	3.0
干酒糟	5.0
面粉	28.0
米糠	6.0
玉米	3.0
鱼油	4.0
豆油	0.0
磷酸二氢钙	2.0
预混料	2.0
黏合剂	0.5
食盐	0.3
乌贼膏	1.2
三氧化二铬	0.5

表 2 6 种蛋白质饲料原料的常规化学组成及氨基酸组成(干物质基础)

成分	进口鱼粉	肉粉	虾粉	菜粕	豆粕	花生粕
粗蛋白	61.84	69.25	61.39	37.81	44.77	47.36
粗脂肪	9.17	11.06	4.52	2.53	0.92	1.16
天冬酰胺	6.30	5.04	5.47	2.96	5.70	5.29
谷氨酰胺	10.35	9.56	8.65	8.05	10.57	9.93
丝氨酸	2.17	2.20	1.62	1.37	2.07	1.87
组氨酸	2.05	1.09	0.90	1.00	1.21	1.03
甘氨酸	4.14	10.46	3.51	2.12	2.28	2.87
苏氨酸	2.77	2.00	2.14	1.63	1.82	1.19
精氨酸	4.26	5.20	3.25	2.52	3.74	5.28
丙氨酸	4.52	5.48	3.51	1.85	2.30	1.90
酪氨酸	1.76	1.27	1.60	0.85	1.31	1.39
半胱氨酸	0.27	0.19	0.15	0.28	0.24	0.19
缬氨酸	3.87	3.18	3.05	2.24	2.65	2.11
蛋氨酸	2.06	1.01	1.39	0.45	0.24	0.43
苯丙氨酸	3.00	2.42	2.52	1.68	2.70	2.60
异亮氨酸	3.67	2.27	3.08	2.00	2.84	2.04
亮氨酸	5.56	4.33	4.33	3.01	4.11	3.32
赖氨酸	6.14	3.82	4.16	2.41	3.44	1.81
脯氨酸	2.53	5.59	2.57	2.96	2.44	1.84
氨基酸总和	65.43	65.11	51.89	37.38	49.65	45.09

(饲料中 Cr₂O₃ 百分含量 × 粪便中该营养成分百分含量)/(粪便中 Cr₂O₃ 百分含量 × 饲料中该营养成分百分含量) × 100%。

饲料原料营养成分的表观消化率 = (试验饲料某营养成分的表观消化率 - 0.7 × 基础饲料某营养成分的表观消化率)/30 × 100%。

1.5 数据分析与处理

所得试验数据均以“平均值 ± 标准误”表示,采用 SPSS 19.0 分析软件经单因素方差分析后,若存在显著差异,则采用 Duncan’s 法进行多重比较。*P* < 0.05 表示差异显著。

2 结果

2.1 克氏原螯虾对 6 种蛋白饲料的常规营养成分的表观消化率

由表 3 可知,克氏原螯虾对 6 种蛋白饲料原料的表观消化率差异较大,饲料原料总消化率中进口鱼粉组(87.61%)最高,虾粉组(65.80%)显著低于其他组(*P* < 0.05),其他组间差异不明显(*P* > 0.05);粗蛋白表观消化率中,菜粕组的表观消化率(91.58%)最高,豆粕组(49.30%)和虾粉组(49.01%)显著低于其他组(*P* < 0.05),其他各组间差异不明显(*P* > 0.05);粗脂肪表观消化率豆粕组(75.76%)显著低于其他组(*P* < 0.05),肉粉组

表 3 克氏原螯虾对 6 种蛋白质原料的表观消化率			
原料	饲料总消化率 (%)	粗蛋白表观消化率 (%)	粗脂肪表观消化率 (%)
进口鱼粉	87.61 ± 1.02a	84.03 ± 0.13ab	94.82 ± 0.85a
豆粕	81.91 ± 3.27ab	49.30 ± 7.99c	75.76 ± 3.22c
菜粕	76.74 ± 0.79bc	91.58 ± 1.43a	96.83 ± 0.31a
花生粕	75.28 ± 3.66bcd	73.21 ± 5.40b	90.26 ± 1.85ab
虾粉	65.80 ± 0.61d	49.03 ± 1.44c	82.09 ± 5.98bc
肉粉	79.28 ± 2.40ab	88.15 ± 0.85a	97.54 ± 0.06a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(*P* < 0.05)。下表同。

(97.54%)最高。

2.2 克氏原螯虾对 6 种蛋白质原料中氨基酸的表观消化率

由表 4 可知,对于克氏原螯虾成虾,进口鱼粉、菜粕及肉粉组 17 种氨基酸表观消化率均超过 80%,6 种饲料原料中虾粉组 17 种氨基酸表观消化率均为最低,除甘氨酸表观消化率外,菜粕组氨基酸表观消化率均为最高。

3 讨论

3.1 粪便收集及表观消化率计算方法的选择

目前,水产动物营养研究已有很多收集粪便的方法,如挤压法、解剖法、肛吸法、虹吸法、连续过滤

表 4 克氏原螯虾对 6 种蛋白质原料中氨基酸的表观消化率

氨基酸	表观消化率 (%)					
	进口鱼粉	肉粉	虾粉	豆粕	菜粕	花生粕
天冬酰胺	83.87 ± 0.46bc	87.26 ± 0.76c	48.66 ± 0.18a	56.50 ± 6.00a	90.68 ± 1.97c	75.02 ± 5.54b
谷氨酰胺	88.88 ± 0.39cd	90.98 ± 0.31d	66.16 ± 0.56a	72.08 ± 3.06b	93.85 ± 1.09d	84.05 ± 3.13c
丝氨酸	84.88 ± 0.51bc	88.48 ± 0.72c	50.25 ± 1.02a	60.84 ± 5.94a	91.61 ± 1.78c	74.77 ± 6.13b
组氨酸	89.34 ± 0.33d	90.99 ± 0.16d	60.13 ± 1.02a	67.89 ± 3.59b	93.72 ± 1.23d	80.43 ± 4.45c
甘氨酸	84.42 ± 0.04bc	91.52 ± 0.65c	49.97 ± 1.15a	50.49 ± 8.10a	91.16 ± 1.84c	71.86 ± 6.15b
苏氨酸	82.02 ± 0.54c	86.72 ± 0.71c	37.97 ± 0.79a	45.14 ± 7.91a	89.65 ± 2.25c	63.72 ± 8.66b
精氨酸	87.18 ± 0.31b	90.40 ± 0.60b	59.20 ± 1.28a	59.76 ± 8.17a	92.62 ± 1.43b	82.55 ± 3.36b
丙氨酸	83.08 ± 0.35bc	88.18 ± 0.83c	45.17 ± 1.01a	44.10 ± 8.89a	89.60 ± 2.13c	69.88 ± 6.19b
酪氨酸	86.12 ± 0.91bc	88.30 ± 0.61bc	55.24 ± 1.35a	57.50 ± 7.10a	92.82 ± 1.40c	80.39 ± 3.20b
半胱氨酸	84.65 ± 1.03cd	88.00 ± 0.70d	58.16 ± 0.30a	66.28 ± 5.29ab	94.63 ± 0.79d	74.06 ± 7.24bc
缬氨酸	83.55 ± 0.39bc	86.69 ± 0.72c	43.81 ± 0.75a	48.42 ± 7.60a	90.42 ± 2.03c	71.64 ± 6.03b
蛋氨酸	86.65 ± 0.45c	89.36 ± 0.17c	55.66 ± 0.37a	48.52 ± 6.29a	91.72 ± 1.68c	74.69 ± 4.88b
苯丙氨酸	84.23 ± 0.43bc	87.37 ± 0.49c	46.18 ± 0.36a	53.08 ± 6.02a	90.57 ± 2.04c	74.63 ± 5.81b
异亮氨酸	84.84 ± 0.47c	86.90 ± 0.49c	45.07 ± 1.00a	47.14 ± 7.61a	89.17 ± 2.47c	68.21 ± 8.36b
亮氨酸	85.01 ± 0.43c	87.69 ± 0.40c	47.67 ± 0.88a	51.08 ± 6.75a	90.04 ± 2.27c	70.97 ± 7.32b
赖氨酸	86.81 ± 0.31b	88.90 ± 0.53b	56.02 ± 1.01a	51.83 ± 6.86a	90.62 ± 2.02b	66.92 ± 8.99a
脯氨酸	86.40 ± 0.42bc	92.20 ± 0.40c	65.78 ± 0.61a	79.92 ± 1.85b	91.78 ± 0.89c	83.12 ± 5.32b

法、倾析法、网捞法和积粪器法等^[10],但是这些方法均各有优缺点。董小林等研究表明,不同粪便收集方法、收集时间都对表观消化率有影响,研究指出,在挑选新鲜粪便情况下、在排便高峰期用虹吸法是一种有效的方法^[11]。本试验选择指示剂法节省了时间和劳动力,在不能全部收集粪便的情况下,指示剂法更具优势^[12],并采用三氧化二铬来作为外源指示剂测定表观消化率。在畜禽营养研究中表明,三氧化二铬作为外源指示剂具有不易被动物吸收、对动物本身影响小的优点,在近几年动物营养研究中被广泛使用^[13]。本试验使用“70% 基础饲料 + 30% 试验饲料原料”的方法,以确保克氏原螯虾正常生长所需要的各种营养物质^[14]。这样使用饲料配比,既保证饲料营养成分组成的平衡以满足试验克氏原螯虾的健康正常生长所需,也保证了消化率测定的科学性、准确性。

3.2 克氏原螯虾对 6 种蛋白饲料常规营养成分的表观消化率

常规营养成分表观消化率从侧面体现了生物对饲料中营养物质的利用率。本试验中菜粕组的蛋白、脂肪消化率超过 90%,其中进口鱼粉组的各个营养成分的消化率均超过 80%,这与刘修英等研究的苏氏圆腹芒对常用蛋白饲料表观消化率的结果^[15]一致,可能是饲喂纤维素含量较高的植物性蛋白饲料会导致克氏原螯虾消化酶活性降低和食糜通过消化道时间减少,使得其表观消化率降低。克氏原螯虾对进口鱼粉总的消化率最高,可能是进口蛋白质含量高、品质好,氨基酸组成齐全且平衡,钙磷含量高且比例适宜,克氏原螯虾以摄食动物性蛋白为主使得进口鱼粉饲料消化率高于一些植物性蛋白饲料,这与之前一些研究结果一致,如 Zhou 等研究团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 对动物性蛋白源和非动物性蛋白源的表观消化率影响,发现团头鲂对非动物性蛋白源的表观消化率显著高于动物性蛋白源,进一步说明水产动物的食性与饲料中蛋白质的消化率密切相关^[16]。虾粉消化率最低的原因可能是虾粉中含有几丁质,其化学组成类似于纤维素,很难被克氏原螯虾消化吸收。此外,虾粉脂肪含量高,长时间贮存易氧化酸败,而饲料加工方式也是导致虾粉消化率过低的一个因素^[17]。

3.3 克氏原螯虾对 6 种蛋白饲料氨基酸的表观消化率

原料蛋白质的质量是影响鱼类营养的首要因

素,而水产动物对其蛋白质和氨基酸的消化率是判断原料能否利用的重要指标^[18]。试验结果显示,菜粕组中赖氨酸水平低于其他组(花生粕组除外)导致其对氨基酸表观消化率高,该结果与张微微等研究饲料中赖氨酸水平对克氏原螯虾的消化酶活性影响的结论^[19]相似,即过量的赖氨酸水平会导致氨基酸比例失衡,阻碍克氏原螯虾对其他氨基酸的消化吸收,同时还抑制克氏原螯虾肠道消化酶活性,从而使克氏原螯虾对饲料原料氨基酸的表观消化率降低。虾粉组氨基酸表观消化率最低,除虾粉中所含几丁质抑制克氏原螯虾的消化吸收外,可能是试验饲料虾粉中的氨基酸比例不平衡和饲料加工方式不当,这与钱国英等研究中华绒螯蟹对常用饲料原料氨基酸消化率的结果^[20]一致。因此,在配制克氏原螯虾饲料时应充分考虑在不同饲料和原料配合中,不同原料同种氨基酸的消化率差异,须保证氨基酸比例平衡,在满足克氏原螯虾氨基酸需求条件下,提高其对饲料氨基酸的消化率。

4 结论

进口鱼粉、肉粉作为较为出色的克氏原螯虾饲料蛋白源更具优势,菜粕则是较好的植物性饲料蛋白源。

参考文献:

- [1] 郭沛涌,王运涛. 水产养殖饲料蛋白源开发利用研究现状[J]. 中国水产科学,2000,7(4):108-112.
- [2] 谢文星,董方勇,谢山. 克氏原螯虾的食性、繁殖和栖息习性研究[J]. 水利渔业,2008,28(4):63-65.
- [3] Jones P L, de Silva S S, Mitchell B D. The effect of dietary protein source on growth and carcass composition in juvenile Australian freshwater crayfish [J]. Aquaculture International, 1996, 4 (4): 361-376.
- [4] Wan J J, Shen M F, Tang J Q, et al. Effects of soybean meal processing treatments on growth performance, nutrient digestibility, nitrogen and phosphorus excretion in red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* [J]. Aquaculture International, 2017, 25 (2): 543-554.
- [5] Tan Q, Song D, Chen X, et al. Replacing fish meal with vegetable protein sources in feed for juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*: Effects of amino acids supplementation on growth and feed utilization [J]. Aquaculture Nutrition, 2018, 24(2): 858-864.
- [6] AOAC. Official methods of analytical of the association of official analytical chemists (16th ed) [S]. AOAC, 1995, Arlington, VA.
- [7] Furukawa A, Tsukahara H. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility in fish feed [J]. Bulletin of the Japanese Society of

郑尧,陈家长,袁丽萍,等.吉富罗非鱼养殖池塘水质调控集成技术研究[J].江苏农业科学,2020,48(7):193-197.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.036

吉富罗非鱼养殖池塘水质调控集成技术研究

郑尧,陈家长,袁丽萍,周瑶,李丹丹,孙旋辉,邴旭文

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心/农业农村部水产品质量安全环境因子风险评估实验室(无锡),江苏无锡 214081)

摘要:以吉富罗非鱼养殖池塘为对象,集成上、中、下层水质调控技术,研究其对池塘水质氮、磷净化效果。通过设置对照组(Y1)、5% 薤菜 + 5% 填料 + 泼藻组(Y2)、5% 薤菜 + 5% 填料 + 不泼藻组(Y3)、10% 薤菜 + 5% 填料 + 泼藻组(Y4)、10% 薤菜 + 5% 填料 + 不泼藻组(Y5)、5% 薤菜 + 10% 填料 + 泼藻组(Y6)、5% 薤菜 + 10% 填料 + 不泼藻组(Y7),测定高锰酸盐指数(COD_{Mn})、叶绿素 a、总氮(TN)、NH₃-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、总磷(TP)、PO₄³⁻-P 等水质指标,并进行环境、效益评估。水质处理效果最优为 NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、COD_{Mn}、NH₃-N、PO₄³⁻-P 处理效果也较好,后期(8—9 月)TP 明显升高,Y4、Y5 水质净化效果好。Y1、Y5 经济效益较好。集成上、中、下层水质调控技术可显著增强水质氮、磷去除效果,Y5 适合推广。

关键词:吉富罗非鱼;养殖;底泥;池塘水质调控;原位修复;集成

中图分类号:X52 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)07-0193-05

从水体上层观察,薤菜-水芹轮作模式前期(薤菜种植阶段)能显著降低青鱼和经济鱼养殖水体中 TOC、叶绿素 a、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N

含量,轮作后期(水芹种植阶段)能显著降低水体中 TOC、NO₃⁻-N、TP 含量,轮作前、后期均能降低不同养殖品种底质中 TOC、TN、TP 含量^[1]。在轮作模式中的植物品种选择上考虑中草药,如鱼腥草(*Houttuynia cordata* Thunb)、虎杖(*Polygonum cuspidatum*)、薄荷(*Mentha haplocalyx* Briq.)等^[2],还能起到增强吉富罗非鱼免疫能力的功效^[3]。从水体中层观察,添加藻类能改善养殖水中浮游动物、植物群落结构^[4-5]。从水体中下层观察,组合填料在一定程度上可有效改善水质,促进罗非鱼生

收稿日期:2019-02-25

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2015BAD13B03);现代农业产业技术体系专项(编号:CARS-46)。

作者简介:郑尧(1986—),男,安徽太湖人,博士,副研究员,主要从事渔业生态环境保护研究。E-mail:zhengy@ffrc.cn。

通信作者:邴旭文,硕士,研究员,研究方向为池塘水质净化与修复, E-mail:bingxw@ffrc.cn;陈家长,硕士,研究员,研究方向为渔业生态环境保护, E-mail:chenjz@ffrc.cn。

Scientific Fisheries,1966,32:502-508.

[8]张龙翔.生化试验方法和技术[M].北京:高等教育出版社,1981:94-112.

[9]易昌金,胡俊茹,胡毅,等.凡纳滨对虾对黑水虻幼虫粉营养物质的表观消化率[J].饲料工业,2018,39(4):21-25.

[10]Spyridakis P, Metailler R, Gabaudan J. Studies on nutrient digestibility in European sea bass *Dicentrarchus labrax*: 1. Methodological aspects concerning faecal collection [J]. Aquaculture,1989,77(1):61-70.

[11]董小林,解绶启,雷武,等.粪便收集方式对异育银鲫表观消化率测定的影响[J].水生生物学报,2012,36(3):450-456.

[12]郑君明,张曦,郑斌.鱼饲料消化率测定方法的研究[J].江西饲料,2002(5):23-27.

[13]陈广信,曹赞,高振华.不同收粪方法对测定畜禽营养物质消化率的影响[J].中国农学通报,2014,30(2):22-25.

[14]Cho C Y, Slinger S J. Apparent digestibility measurement in feed stuffs for rainbow trout,2[M]. Berlin:Heenenanm,1979:239-

247.

[15]刘修英,王岩,王建华.苏氏圆腹鲢对6种常用饲料原料的表观消化率[J].水生生物学报,2009,33(4):778-781.

[16]Zou Y, Ai Q H, Mai K S, et al. Effects of brown fish meal replacement with fermented soybean meal on growth performance, feed efficiency and enzyme activities of Chinese soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis*[J]. Journal of Ocean University of China,2012,11(2):227-235.

[17]袁玥,许兆滨,杨宪时,等.脱氧剂对南极磷虾粉贮藏性能的影响[J].食品工业科技,2014,35(7):322-325.

[18]付晶晶,黄燕华,曹俊明,等.花鲈对6种饲料原料的表观消化率[J].饲料研究,2014,25(3):48-54.

[19]张微微,徐维娜,王莹,等.饲料中赖氨酸水平对克氏原螯虾生长、体组成与消化酶活性的影响[J].中国水产科学,2013,43(2):402-410.

[20]钱国英.中华绒螯蟹对常用饲料原料氨基酸的消化率[J].宁波大学学报(理工版),1998(4):17-21.