

郭志,钟立强,姜虎成,等.饲料中添加芽孢杆菌和乳杆菌对斑点叉尾鲷免疫、消化和抗氧化功能的影响[J].江苏农业科学,2022,50(6):149-153.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.06.025

# 饲料中添加芽孢杆菌和乳杆菌对斑点叉尾鲷免疫、消化和抗氧化功能的影响

郭志<sup>1</sup>,钟立强<sup>2,3</sup>,姜虎成<sup>2,3</sup>,王明华<sup>2,3</sup>,张世勇<sup>2,3</sup>,陈校辉<sup>2,3</sup>,朱明<sup>1</sup>

(1.江苏海洋大学海洋科学与水产学院,江苏连云港 22200; 2.江苏省淡水水产研究所,江苏南京 210017;

3.江苏省农业种质资源保护与利用平台,江苏南京 210014)

**摘要:**通过在饲料中添加芽孢杆菌和乳杆菌,研究其对斑点叉尾鲷免疫、消化和抗氧化功能的影响。选取体质量 $(50 \pm 3)$  g 健康斑点叉尾鲷 360 尾,随机分成 3 组,每组设 3 个平行,分别饲喂基础饲料、添加 0.5% 芽孢杆菌饲料和 0.4% 乳杆菌的饲料,试验周期为 11 周。结果表明,添加芽孢杆菌和乳杆菌可显著提高血清总补体活性 $(P < 0.05)$ ,对皮质醇含量和溶菌酶活性则无显著影响 $(P > 0.05)$ 。添加芽孢杆菌和乳杆菌能显著提高肝脏超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性 $(P < 0.05)$ ,芽孢杆菌组和乳杆菌组 2 组间无显著性差异 $(P > 0.05)$ 。此外,添加芽孢杆菌和乳杆菌还显著提高肠道脂肪酶、淀粉酶活性 $(P < 0.05)$ 。综上,饲料中添加芽孢杆菌和乳杆菌能在一定程度上促进斑点叉尾鲷的免疫、消化和抗氧化功能,为益生菌的应用提供一定参考。

**关键词:**斑点叉尾鲷;益生菌;免疫;消化;抗氧化

**中图分类号:** S965.128 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)06-0149-05

斑点叉尾鲷原产于美国,是美国最主要的淡水养殖鱼类<sup>[1]</sup>。20 世纪 80 年代引入我国后,因其肉嫩味美、无肌间刺,且环境适应性较强,具有广阔的养殖前景<sup>[2]</sup>。目前,我国斑点叉尾鲷养殖产量已达 29.7 万 t,是重要的特色经济鱼类之一<sup>[3]</sup>。

免疫、消化和抗氧化功能是鱼类重要的生理功能,免疫、消化和抗氧化能力提升能够促进养殖鱼类的生长,保证养殖效益的实现,因此,免疫、消化和抗氧化功能的相关研究一直备受关注。已有研究表明,温度、盐度、养殖基质、养殖模式和投喂频率对不同鱼类的免疫、消化和抗氧化功能均产生显著影响<sup>[4-7]</sup>。而更多的研究聚焦于营养饲料等方面,通过改变饲料成分或添加不同物质,研究其对

养殖鱼类免疫、消化和抗氧化功能的改善。益生菌因其安全性好、能促进动物生长和改善水质等功能,被广泛应用于畜禽和水产养殖中<sup>[8]</sup>。常见的益生菌包括芽孢杆菌(*Bacillus*)、乳杆菌(*Lactobacillus*)和光合细菌等<sup>[9-11]</sup>。大量研究表明,益生菌通过改善养殖水体环境、调节宿主肠道菌群平衡,从而提高养殖对象的免疫、抗氧化等功能,最终促进养殖动物的生长<sup>[12-15]</sup>。随着水产养殖产业转型升级和绿色高效发展的要求,益生菌在鱼类上的研究和应用越来越多,也证明芽孢杆菌、乳杆菌、光合细菌等益生菌对鱼类的益生作用。如李军亮等在鱼粉中添加枯草芽孢杆菌饲喂珍珠龙胆石斑鱼幼鱼,发现可显著促进珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长,提高幼鱼的抗病力,增强消化酶、血清过氧化氢酶、超氧化物歧化酶等的活性<sup>[16]</sup>;张小平发现,在草鱼养殖水体中添加枯草芽孢杆菌在一定时间内可有效降低养殖水体中含氮化合物含量,改善养殖水体水质、增加养殖水体中菌群的多样性、提高草鱼的免疫功能、抗氧化功能,改善草鱼肠道健康状况,降低草鱼应激反应和炎症反应<sup>[17]</sup>。目前,我国斑点叉尾鲷的养殖正趋向集约化、规模化,在斑点叉尾鲷养殖过程中存在病害频发、生长速度慢等问题,对益生菌的需求也愈加迫切。本试验通过在饲料中添加乳杆

收稿日期:2021-06-01

基金项目:江苏省现代农业(鲃鱼)产业技术体系建设项目(编号:JATS[2020]369);国家现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-46);江苏省科技重点研发计划(现代农业)(编号:BE2018387);江苏省农业重大新品种创制项目(编号:PZCZ201741)。

作者简介:郭志(1994—),男,山西长治人,硕士研究生,主要从事鱼类健康养殖研究。E-mail:1813779542@qq.com。

通信作者:王明华,教授级高工,主要从事水产健康养殖和鱼类育种研究,E-mail:w19731224@sina.com;朱明,博士,教授,主要从事水产健康养殖,E-mail:zhuming2382@163.com。

菌和芽孢杆菌,研究乳杆菌和芽孢杆菌对斑点叉尾鲴的免疫、消化和抗氧化功能的影响,以期斑点叉尾鲴益生菌制剂的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲料和试验设计

试验用芽孢杆菌和乳杆菌购至山东碧蓝生物科技有限公司,芽孢杆菌为枯草芽孢杆菌 B8 和地衣芽孢杆菌 B7(11)的混合型饲料添加剂,活菌含量为  $2 \times 10^{10}$  CFU/g,乳杆菌为添加乳杆菌 L2 混合型饲料添加剂,活菌含量为  $5 \times 10^9$  CFU/g。综合多篇文献,确定芽孢杆菌和乳杆菌的添加剂量<sup>[17-18]</sup>,芽孢杆菌制剂按照质量分数 0.5%、乳杆菌制剂按照质量分数 0.4% 配成溶液后,均匀喷洒在基础饲料表面(对照组),即饲料中分别添加芽孢杆菌  $1.0 \times 10^8$  CFU/g(芽孢杆菌组)、乳杆菌  $2 \times 10^7$  CFU/g(乳杆菌组)。试验饲料每天投喂前喷洒,在阴凉通风处稍晾干。基础饲料组成和营养水平参考李卓钦等的方法<sup>[19]</sup>,详见表 1。各原料经粉碎机粉碎后过 80 目筛孔,逐级混匀制作基础颗粒饲料,制粒温度为  $(75 \pm 5)$  ℃,风干后分装, -20 ℃ 冰箱保存。

1.2 试验鱼与养殖管理

养殖试验在江苏省淡水水产研究所国家及斑点叉尾鲴遗传育种中心扬中基地的户外网箱开展,试验鱼取自江苏省淡水水产研究所。试验开始前,斑点叉尾鲴暂养于网箱内,驯养 1 周后,选取体质量  $(50 \pm 3)$  g 的健康斑点叉尾鲴 360 尾,随机分成 3 组,每组 3 个平行,每个网箱 40 尾鱼。养殖试验的 9 个网箱(规格 2 m × 2 m × 1 m)置于同一池塘,每天 07:30 和 16:00 饲喂 2 次,饱食投喂。试验期间水温 25 ~ 35 ℃,pH 值为 6.8 ~ 7.5,水体溶解氧含量大于 5.0 mg/L,氨态氮含量 < 0.01 mg/L,饲养 11 周(2019 年 8 月 26 日至 11 月 10 日)。

1.3 样品采集与处理

养殖试验结束后,所有试验鱼禁食 24 h。每个网箱随机选取 3 尾鱼,采用浓度 100 mg/L 间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(MS-222,美国 Sigma 公司)麻醉处理。通过尾椎静脉采血 2.0 mL,静置 30 min,于 4 ℃ 条件下 4 000 r/min 离心 15 min,取血清, -80 ℃ 保存。将每尾鱼的肝胰脏、肠置于冷冻管后,立即液氮快速冷冻,然后于 -80 ℃ 下保存。

1.4 指标测定与方法

血清皮质醇含量用 XH6080 放免仪(西安核仪)

表 1 饲料配方与营养成分(干物质)

原料	占比(%)
鱼粉	6.00
混合植物蛋白	52.00
鱼油	2.00
玉米油	2.00
面粉	15.00
麸皮	19.09
晶体赖氨酸	0.21
磷酸二氢钙	1.80
食盐	0.40
乙氧基喹啉	0.50
预混料	1.00
粗蛋白	33.14
粗脂肪	6.05
水分	11.70
灰分	7.38

注:混合植物蛋白的组成为豆粕:菜粕:棉粕=8:2:3;1 kg 预混料中含矿物和维生素:硫酸铜 2.0 g,硫酸亚铁 25 g,硫酸锌 22 g,硫酸锰 7 g,亚硒酸钠 0.04 g,碘化钾 0.026 g,氯化钴 0.1 g,维生素 A 900 000 IU,维生素 D 200 000 IU,维生素 E 4 500 mg,维生素 K<sub>3</sub> 220 mg,维生素 B<sub>1</sub> 320 mg,维生素 B<sub>2</sub> 1 090 mg,维生素 B<sub>5</sub> 2 000 mg,维生素 B<sub>6</sub> 500 mg,维生素 B<sub>12</sub> 1.6 mg,维生素 C 5 000 mg,泛酸 1 000 mg,叶酸 165 mg,胆碱 60 000 mg。

通过放射免疫法测定,血清总补体含量采用酶联免疫吸附试验(ELISA)法测定,血清溶菌酶活性通过自身对照比浊法测定。肝脏和肠道总蛋白在迈瑞 BS-200 全自动生化分析仪上测定。肝脏超氧化物歧化酶活性、过氧化氢酶活性、丙二醛含量、肠道脂肪酶活性、淀粉酶活性、胰蛋白酶活性测定,采用南京建成生物工程研究所的试剂盒方法参照说明。肝脏谷丙转氨酶活性采用丙氨酸底物法测定,谷草转氨酶活性采用天门冬氨酸底物法测定,碱性磷酸酶活性采用 NPP 底物-AMP 缓冲液法测定,乳酸脱氢酶活性采用乳酸底物法测定。

1.5 数据统计分析

试验数据经 Excel 简单处理后,采用 SPSS 软件进行统计分析,数据最终表现形式为“平均值 ± 标准差”,采用单因素方差分析(ANOVA)比较多组均值间的差异。

2 结果与分析

2.1 饲料中添加芽孢杆菌和乳杆菌对斑点叉尾鲴免疫功能的影响

由表 2 可知,与对照组相比,芽孢杆菌组和乳杆

表 2 对血清皮质醇、总补体、溶菌酶含量的影响

组别	皮质醇含量 (ng/mL)	总补体活性 (U/mL)	溶菌酶活性 (μg/mL)
对照组	107.28 ± 91.93	19.90 ± 2.61b	234.32 ± 34.92
芽孢杆菌组	92.99 ± 68.05	25.78 ± 3.83a	259.26 ± 52.43
乳杆菌组	103.31 ± 97.14	29.82 ± 3.97a	263.67 ± 65.14

注:同列数据后的不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。表 3 ~ 表 5 同。

菌组血清中的皮质醇(cortisol, CT)含量均有所下降,但 3 组间并无显著性差异( $P > 0.05$ );而芽孢杆菌组和乳杆菌组的溶菌酶(lysozyme, LYM)活性则均

表 3 对肝脏 ALT、AST、ALP、LDH 活性的影响

组别	丙氨酸氨基转移酶活性 (U/L)	谷草转氨酶活性 (U/L)	碱性磷酸酶活性 (U/L)	乳酸脱氢酶活性 (U/L)
对照组	355.67 ± 90.36	718.89 ± 175.10	13.67 ± 19.96	4 228.29 ± 735.63
芽孢杆菌组	332.00 ± 59.11	696.67 ± 138.66	10.33 ± 10.42	4 651.71 ± 1 351.92
乳杆菌组	303.00 ± 57.84	660.00 ± 65.38	9.56 ± 0.73	4 356.82 ± 429.17

2.2 饲料中添加芽孢杆菌和乳杆菌对斑点叉尾鲷抗氧化功能的影响

由表 4 可知,芽孢杆菌组和乳杆菌组肝脏总蛋白(total protein, TP)含量均不同程度地有所提高,其中乳杆菌组影响最为明显,较对照组有显著性升高( $P < 0.05$ ),芽孢杆菌组则与其他 2 组无显著性差异( $P > 0.05$ )。肝脏丙二醛(malonicdialdehyde, MDA)含量则刚好相反,芽孢杆菌组和乳杆菌组均

有所提高,但差异也不显著( $P > 0.05$ );2 个益生菌添加组总补体活性均有显著提升( $P < 0.05$ ),其中芽孢杆菌组提高 5.88 U/mL,乳杆菌组提高 9.92 U/mL。

肝脏的非特异性免疫酶比较发现,3 个试验组间丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)、谷草转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)和乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)活性均无显著性差异( $P > 0.05$ )。由表 3 可知,ALT、AST、ALP 活性均为对照组最高,乳杆菌组最低。LDH 活性为对照组最高,乳杆菌组最低。

不同程度地有所降低,乳杆菌组影响也最为明显,与对照组有显著性差异( $P < 0.05$ ),芽孢杆菌组则与其他 2 组无显著性差异( $P > 0.05$ )。与对照组相比,芽孢杆菌组和乳杆菌组肝脏中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和过氧化氢酶(catalase, CAT)活性显著增加( $P < 0.05$ ),其中芽孢杆菌组分别提高了 31.44% 和 44.44%,乳杆菌组分别提高了 27.45% 和 40.57%。

表 4 对斑点叉尾鲷肝脏抗氧化功能的影响

组别	总蛋白含量 (g/L)	超氧化物歧化酶活性 (U/mg)	过氧化氢酶活性 (U/mg)	丙二醛含量 (nmol/mg)
对照组	3.40 ± 0.48b	35.59 ± 6.57b	3.87 ± 0.29b	1.62 ± 0.17a
芽孢杆菌组	3.68 ± 0.60ab	46.78 ± 5.97a	5.59 ± 0.62a	1.43 ± 0.18ab
乳杆菌组	3.96 ± 0.36a	45.36 ± 5.71a	5.44 ± 0.36a	1.33 ± 0.26b

2.3 饲料中添加芽孢杆菌和乳杆菌对斑点叉尾鲷消化功能的影响

由表 5 可知,相较于对照组,芽孢杆菌组和乳杆菌组的肠道总蛋白含量、胰蛋白酶活性均有不同程度的提高,但差异不显著( $P > 0.05$ );而芽孢杆菌组和乳杆菌组肠道的脂肪酶和淀粉酶活性均显著提

高( $P < 0.05$ ),其中芽孢杆菌组脂肪酶和淀粉酶活性分别提高 33.95% 和 35.56%,乳杆菌组脂肪酶和淀粉酶活性分别提高 40.30% 和 31.11%。

3 讨论与结论

补体蛋白是一类动物血清与组织液中经活化

表 5 对肠道总蛋白含量及脂肪酶、淀粉酶、胰蛋白酶活性的影响

组别	总蛋白含量 (g/L)	脂肪酶活性 (U/g)	淀粉酶活性 (U/mg)	胰蛋白酶活性 (μg/mg)
对照组	2.55 ± 0.23	96.42 ± 7.82b	0.45 ± 0.06b	338.28 ± 28.67
芽孢杆菌组	2.60 ± 0.44	129.15 ± 20.39a	0.61 ± 0.16a	343.30 ± 31.70
乳杆菌组	2.78 ± 0.68	135.28 ± 19.51a	0.59 ± 0.15a	341.06 ± 29.07

后有酶活性的蛋白质。鱼类补体直接参与其机体防御,是其非特异性免疫系统的重要组成部分,补体能够激活细胞防御,增强鱼类抵抗有害微生物的能力,还可促进免疫细胞间的联系、免疫物质的生成及持续时间<sup>[20-21]</sup>。本试验结果显示,饲料中添加芽孢杆菌和乳杆菌能显著提高斑点叉尾鲟的血清总补体活性( $P < 0.05$ ),能在一定程度上提高鲟鱼免疫力,这与黄颡鱼、斜带石斑鱼、草鱼等鱼类的研究结果<sup>[18]</sup>类似。饲料中添加芽孢杆菌和乳杆菌等益生菌增强动物机体免疫功能的机理可能是通过改善肠道微生态环境和通过自身分泌免疫激活剂来实现的<sup>[22-23]</sup>。芽孢杆菌和乳杆菌通过口服,在肠道定殖后,抑制肠道内有害菌生长,调节肠道菌群结构,并促进免疫器官发育,通过调节细胞因子、抑制活性氧、增强细胞吞噬作用、增加机体免疫物质水平等方式提高机体免疫功能。但本研究芽孢杆菌和乳杆菌的添加对其他非特异性免疫因子影响相对有限,LZM 和 LDH 的活性虽然也有所增加,但影响却不显著( $P > 0.05$ )。这可能与 2 种益生菌的添加比例有关,本试验中参考其他养殖品种研究所确定的添加浓度,可能并非斑点叉尾鲟最优添加浓度,后续还需要进一步开展浓度梯度添加试验,筛选出最优添加浓度,更好地对斑点叉尾鲟养殖起到促进作用。肝脏 ALT 和 AST 的活性能够较准确地反映肝功能和组织机能,当肝脏受到损伤时,ALT、AST 活性会提高<sup>[24]</sup>。本试验中各组间 ALT 和 AST 活性差异不显著( $P > 0.05$ ),可见 2 种益生菌的添加对斑点叉尾鲟肝胰脏未造成不良影响,是良好的饲料添加剂。

健康的机体氧化过程与抗氧化过程处于动态平衡状态,当体系失衡,就会影响机体的正常生理功能<sup>[18]</sup>,而鱼类生长发育过程中会产生大量的活性氧自由基,SOD、CAT 等是机体的重要抗氧化防御酶,构成了机体抗氧化体系,能够有效清除活性氧自由基。鱼体内活性氧自由基升高时,相应的抗氧化酶活性也会作出改变,因而它们都是机体抗氧化功能的指标<sup>[25]</sup>。而 MDA 则是脂质过氧化反应的最终生成物,是自由基过量引起了机体损伤的直观指标。本研究中芽孢杆菌组和乳杆菌组斑点叉尾鲟 SOD、CAT 活性显著提高( $P < 0.05$ );此外乳杆菌组 TP 含量还显著提高了( $P < 0.05$ ),MDA 含量显著降低了( $P < 0.05$ ),表明益生菌的添加显著提升了养殖斑点叉尾鲟的抗氧化功能,其中乳杆菌的添加效

果更为明显。这与前人添加芽孢杆菌或芽孢杆菌与乳杆菌的复合益生菌提高三角帆蚌、南美白对虾、中华鳖及草鱼抗氧化功能的结果<sup>[26-28]</sup>一致。乳杆菌主要通过提高 SOD 和 CAT 活性来抵抗机体的氧化<sup>[29-30]</sup>,而芽孢杆菌进入鱼体后则是通过分泌抗氧化酶或作为激活剂促进机体抗氧化酶分泌,从而有效清除自由基,抑制脂质过氧化<sup>[31]</sup>。因此,在饲料中添加适量的芽孢杆菌和乳杆菌可以提高斑点叉尾鲟的抗氧化功能,减轻自由基对机体的损伤,减少养殖过程中的病害。

消化酶在鱼类消化营养物质的过程中有着重要作用,它们良好的催化剂,能促进分解大分子物质为易吸收的小分子代谢物,加快消化相关的生化反应<sup>[32-33]</sup>,因而消化酶活性水平对鱼类的消化功能有着直接的影响,反映了鱼类消化营养物质的能力<sup>[34]</sup>。鱼类的肠液是包含胰、肝、肠等分泌成分的混合体,其中,各种消化酶活性能有效显示鱼类消化功能情况。本研究结果表明,添加芽孢杆菌和乳杆菌添加可显著提高斑点叉尾鲟肠道脂肪酶和淀粉酶活性( $P < 0.05$ ),说明这 2 种益生菌可促进斑点叉尾鲟肠道分泌脂肪酶和淀粉酶,与之前异育银鲫、鲤鱼、军曹鱼、罗非鱼、草鱼等养殖鱼类的结果<sup>[18,35]</sup>一致。芽孢杆菌与乳杆菌能够分泌有较强活性的各种消化酶,还能分泌机体本身不能合成的复杂酶类,促进机体产生多种消化酶,从而提高了养殖鱼类的饲料消化吸收,最终促进其生长。

2 组益生菌对斑点叉尾鲟的免疫能力提升相对有限,仅对总补体活性有显著性提高,但是对斑点叉尾鲟的抗氧化和消化功能有显著的促进作用。然而养殖过程中,乳杆菌添加组摄食时间有所增加,应该是乳杆菌的添加对饲料的口感造成了一定影响,降低了斑点叉尾鲟的摄食率。此外,乳杆菌耐热性差,前期添加压制成饲料颗粒后,实验室培养检测发现,乳杆菌全部失活,而芽孢杆菌活菌含量仅下降 1 个数量级,因此只能选择喷洒添加的方式开展试验。而日常养殖过程中,饲料使用量大,喷洒添加益生菌的方式给养殖管理增加了巨大的工作量,同时也增加了益生菌低温保存和劳动力的成本。相对而言,芽孢杆菌更适合作为斑点叉尾鲟饲料的添加益生菌。

总而言之,饲料中添加芽孢杆菌和乳杆菌能在一定程度上促进斑点叉尾鲟的免疫、消化和抗氧化功能。但从饲料保存、摄食率和养殖效果等方面综

合考虑,芽孢杆菌是更适合加入斑点叉尾鲷饲料中的益生菌。此外,后续还需进一步开展最优添加比例的研究,同时,还需要探索饲料成本和养殖收益的平衡,实现养殖效益的最大化。

#### 参考文献:

- [1] Mischke C C. Channel catfish pond fertilization [M]//Aquaculture pond fertilization. Oxford:Wiley - Blackwell,2012:135 - 146.
- [2] Zhong L Q, Song C, Chen X H, et al. Channel catfish in China: Historical aspects, current status, and problems [J]. Aquaculture, 2016,465:367 - 373.
- [3] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 中国渔业统计年鉴:2020 [M]. 北京:中国农业出版社,2020:25.
- [4] 刘 峰,刘阳阳,楼 宝,等. 温度对小黄鱼体内抗氧化酶及消化酶活性的影响 [J]. 海洋学报,2016,38(12):76 - 85.
- [5] 张 月,段亚飞,董宏标,等. 人工基质对凡纳滨对虾免疫和消化相关指标的影响 [J]. 水产科学,2017,36(4):462 - 466.
- [6] 袁新程,严银龙,施永海. 盐度对褐鳃鲷幼鱼生长、体成分、消化和抗氧化酶活力的影响 [J]. 上海农业学报,2020,36(2):114 - 119.
- [7] 谢苏明,王裕玉,聂志娟,等. 投喂频率对池塘工程化循环水养殖大口黑鲈生长、生理及肝脏 *GH*、*IGF - I* 基因表达丰度的影响 [J]. 中国水产科学,2020,27(4):363 - 374.
- [8] 郭兴华. 益生菌基础与应用 [M]. 北京:北京科学技术出版社,2002:8 - 15.
- [9] 陈志谊. 芽孢杆菌类生物杀菌剂的研发与应用 [J]. 中国生物防治学报,2015,31(5):723 - 732.
- [10] Sha Y J, Wang L, Liu M, et al. Effects of lactic acid bacteria and the corresponding supernatant on the survival, growth performance, immune response and disease resistance of *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2016,452:28 - 36.
- [11] Vesterlund S, Vankerckhoven V, Saxelin M, et al. Safety assessment of *Lactobacillus* strains: Presence of putative risk factors in faecal, blood and probiotic isolates [J]. International Journal of Food Microbiology, 2007,116(3):325 - 331.
- [12] Kesarcodi - Watson A, Kaspar H, Lategan M J, et al. Probiotics in aquaculture: The need, principles and mechanisms of action and screening processes [J]. Aquaculture, 2008,274(1):1 - 14.
- [13] Thompson F L, Abreu P C, Cavalli R. The use of microorganisms as food source for *Penaeus paulensis* larvae [J]. Aquaculture, 1999,174(1/2):139 - 153.
- [14] Verschuere L, Rombaut G, Sorgeloos P, et al. Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture [J]. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 2000,64(4):655 - 671.
- [15] Gatesoupe F J. The use of probiotics in aquaculture [J]. Aquaculture, 1999,180(1/2):147 - 165.
- [16] 李军亮,杨奇慧,谭北平,等. 低鱼粉饲料添加枯草芽孢杆菌对珍珠龙胆斑鱼幼鱼生长、消化酶活性、抗氧化酶活性及其 mRNA 表达的影响 [J]. 水产学报,2019,43(4):1126 - 1137.
- [17] 张小平. 枯草芽孢杆菌 SC02 和施氏假单胞菌 F1M 对草鱼养殖水体水质的影响及机理研究 [D]. 杭州:浙江大学,2014:43 - 91.
- [18] 薛俊敬. 益生菌对草鱼生长、营养代谢和机体免疫的影响 [D]. 南昌:南昌大学,2018:13 - 33.
- [19] 李卓钦,刘文斌,田红艳,等. 不同饲料料型及投喂频率对斑点叉尾鲷幼鱼生长及肌肉品质的影响 [J]. 中国水产科学,2018,25(6):1260 - 1270.
- [20] 张 静,詹 勇,苏彬. 鱼类补体系统的研究进展 [J]. 中国饲料,2008(5):8 - 11.
- [21] Harikrishnan R, Balasundaram C, Heo M S. Effect of probiotics enriched diet on *Paralichthys olivaceus* infected with lymphocystis disease virus (LCDV) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2010,29(5):868 - 874.
- [22] 邢芳芳,孔祥峰,印遇龙,等. 微生态制剂对水产养殖动物的作用机理及科学应用 [J]. 中国饲料添加剂,2007(9):38 - 42.
- [23] 胡 毅,谭北平,麦康森,等. 饲料中益生菌对凡纳滨对虾生长、肠道菌群及部分免疫指标的影响 [J]. 中国水产科学,2008,15(2):244 - 251.
- [24] 吴小兰,刘先洲. 脂肪肝与谷丙转氨酶、血糖及血脂的相关性分析 [J]. 公共卫生与预防医学,2007,18(4):10 - 12.
- [25] 李卫芬,邓 斌,陈南南,等. 芽孢杆菌对草鱼生长和肠黏膜抗氧化功能及养殖水质的影响 [J]. 水生态学杂志,2012,33(1):65 - 70.
- [26] 沈文英,余东游,李卫芬,等. 地衣芽孢杆菌对三角帆蚌消化酶活性、免疫指标和抗氧化指标的影响 [J]. 动物营养学报,2009,21(1):95 - 100.
- [27] Shen W Y, Fu L L, Li W F, et al. Effect of dietary supplementation with *Bacillus subtilis* on the growth, performance, immune response and antioxidant activities of the shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Aquaculture Research, 2010,41(11):1691 - 1698.
- [28] 暴 宁,王连顺,韩雨哲,等. 益生菌在水产养殖中的技术研究 [J]. 中国水产,2017(3):89 - 90.
- [29] Ito M, Ohishi K, Yoshida Y, et al. Antioxidative effects of lactic acid bacteria on the colonic mucosa of iron - overloaded mice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003,51(15):4456 - 4460.
- [30] Al - Dohail M A, Hashim R, Aliyu - Paiko M. Effects of the probiotic, *Lactobacillus acidophilus*, on the growth performance, haematology parameters and immunoglobulin concentration in African Catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) fingerling [J]. Aquaculture Research, 2009,40(14):1642 - 1652.
- [31] 沈文英,李卫芬,梁 权,等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌对草鱼生长性能、免疫和抗氧化功能的影响 [J]. 动物营养学报,2011,23(5):881 - 886.
- [32] 戴滨阳. 益生菌及复合酶制剂对乌鳢生长性能的影响及机制研究 [D]. 硕士学位论文,浙江大学,2018:35 - 41.
- [33] 李伟峰,林 杰,陈 涛. 大弹涂鱼幼鱼、成鱼消化酶活性及肌肉营养价值分析 [J]. 江苏农业科学,2021,49(1):152 - 155.
- [34] 马如龙. 5 株斜带石斑鱼肠道原籍菌的益生作用研究 [D]. 南京:南京农业大学,2010:58 - 74.
- [35] 刘 波,刘文斌,王 恬. 地衣芽孢杆菌对异育银鲫消化机能和生长的影响 [J]. 南京农业大学学报,2005,28(4):80 - 84.