

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20170712003

http://www.yykxjz.cn/

王艺, 纪利芹, 孙国祥, 刘鹰, 王顺奎. 饲料中添加 β -葡聚糖对虹鳟部分生长指标和血液生理指标的影响. 渔业科学进展, 2018, 39(3): 65–71

Wang Y, Ji LQ, Sun GX, Liu Y, Wang SK. Effects of dietary β -glucan on some growth and blood physiological indices of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(3): 65–71

饲料中添加 β -葡聚糖对虹鳟部分生长指标 和血液生理指标的影响*

王 艺^{1,2} 纪利芹³ 孙国祥⁴ 刘 鹰^{1①} 王顺奎⁵

(1. 大连海洋大学水产设施养殖与装备工程技术研究中心 大连 116023;

2. 大连海洋大学水产与生命学院 大连 116023; 3. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071;

4. 山东金城生物药业有限公司 淄博 255000; 5. 山东东方海洋科技股份有限公司 烟台 264000)

摘要 选择初始体重为(454±52) g 的虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*), 分别投喂添加不同浓度 β -葡聚糖(0.05%、0.1%和 0.2%)的饲料, 饲养 30 d 后进行取样, 分析虹鳟部分生长指标及血液生理指标。结果显示, 投喂对应饲料 30 d 后, 0.2%葡聚糖添加组增重率最高, 显著高于其他实验组及对照组($P<0.05$), 0.05%葡聚糖添加组增重率最低。0.2%葡聚糖添加组特定生长率显著高于其他组($P<0.05$), 0.05%和 0.1%组与对照组无显著差异($P>0.05$)。0.2%葡聚糖添加组的肝体比显著高于其他实验组及对照组($P<0.05$)。各添加组的肥满度随着葡聚糖投喂量的增多而升高, 其中, 最大值出现于 0.2%葡聚糖添加组, 但各添加组肥满度均显著低于对照组($P<0.05$)。投喂 30 d 后, 0.05%葡聚糖组白细胞数量显著高于 0.2%葡聚糖组及对照组($P<0.05$), 与 0.1%葡聚糖组差异不显著($P>0.05$), 0.1%葡聚糖组红细胞数量最高, 显著高于其他实验组及对照组($P<0.05$), 葡聚糖组红细胞数量显著高于对照组($P<0.05$)。0.1%葡聚糖组血红蛋白浓度显著高于其他实验组及对照组($P<0.05$), 对照组鱼的血红蛋白浓度显著低于各实验组($P<0.05$)。研究表明, 在循环水养殖模式下, 饲料中添加 β -葡聚糖可提高虹鳟的生长性能并改变其部分血液生理指标, 本研究中 0.2% β -葡聚糖的效果最好。

关键词 虹鳟; β -葡聚糖; 生长指标; 血液生理指标

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2018)03-0065-07

虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)是冷水性的鱼类, 原产于美洲西部海岸, 但因具有调控渗透压的能力, 亦可在普通淡水中正常生存, 现在世界范围内分布广泛(贝念湘等, 1995)。虹鳟肉嫩、刺少、味美、可食率高, 可熟食亦可做生鱼片食用。国际市场上将虹鳟列为高档商品鱼, 是利用冷水资源的优良鱼种。近年来,

随着国内养殖集约化程度的不断提高, 虹鳟养殖病害频发, 严重影响了产业的持续发展(方允中等, 2003)。

为增强鱼体体质和提高抗病能力, 国内外学者进行了水产动物免疫增强剂的研究工作(Montero *et al*, 2001)。 β -葡聚糖是一种存在于大多数微生物中具有增强免疫力作用的大分子多糖(Anderson *et al*, 1996), 具

* 国家自然科学基金(41306152; 31472312; 31402283)和江苏省重点研发计划(BE2015325)共同资助 [This work was supported by NSFC of China (41306152, 31472312, and 31402283), Jiangsu Province Key Research and Development Plan (BE2015325)]. 王 艺, E-mail: wxxfbxvip@163.com

① 通讯作者: 刘 鹰, 研究员, E-mail: yingliu@dlo.edu.cn

收稿日期: 2017-07-12, 收修改稿日期: 2017-08-02

有抑制肿瘤活性、抵抗炎症、抗氧化、免疫调节等多种生物功能(王永宏, 2013; 李万坤等, 2007; 曹敏等, 2011)。Nan 等(2010)研究表明, β -葡聚糖能提高鱼类机体免疫力, 促进生长。Mai 等(2007)发现, 口服 β -葡聚糖能显著提高大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)的生长速度。凌统等(2005)发现, 投喂 β -葡聚糖能促进不同种鱼的生长并降低死亡率。Selvaraj 等(2005)发现, 不同剂量的 β -葡聚糖可以显著提高鲤鱼(*Cyprinus carpio*)的白细胞数量, 尤其是嗜中性粒细胞和单核细胞数量增加最显著。随着对 β -葡聚糖使用方法、作用效果研究的进一步深入, β -葡聚糖必将成为提高水生动物免疫力和控制水生动物疾病的重要途径。

本研究通过在饲料中添加不同浓度的 β -葡聚糖, 对喂养 30 d 后的虹鳟生长及血液生理指标进行检测, 探讨 β -葡聚糖对虹鳟生长性能和部分血液生理指标的影响, 进而筛选出 β -葡聚糖的适宜添加浓度, 为全面研究 β -葡聚糖对鱼体生长及免疫功能的影响提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼及养殖管理

实验于山东东方海洋科技股份有限公司烟台开发区分公司的循环水养殖系统开展, 共分 4 个实验组, 每组 3 个平行, 共用 12 个混凝土养殖池。实验对象选用体质健壮、大小均匀、体重为(454±52) g 的虹鳟, 每池虹鳟 1200 尾, 初始放养密度为(6.05±0.25) kg/m³。养殖池的长×宽×水深为 5 m×5 m×4 m, 有效养殖水体约为 80 m³, 养殖期间, 水温为 11~13℃, 溶解氧饱和度为 70%~74%, pH 为 7.6~7.9, 总氨氮浓度为 0~0.2 mg/L, 亚硝酸盐浓度为 0~0.1 mg/L。每天投喂 5 次, 日投喂量为鱼体重的 2%~3%, 养殖实验持续 30 d。

1.2 实验饲料

实验用 β -葡聚糖为 β -1,3-葡聚糖和 β -1,6-葡聚糖混合物, 其中, β -1,3-葡聚糖含量为 90%, 购买于湖北安琪酵母股份有限公司, 纯度为 90%。实验基础饲料购买自北京汉业科技有限公司, 配方见表 1。在基础饲料中添加 3 种不同剂量的 β -葡聚糖, 制备成 3 种不同 β -葡聚糖浓度的实验饲料(0.05%、0.1%和 0.2%), 不添加葡聚糖的基础饲料为对照饲料。

1.3 养殖实验

养殖实验在循环水养殖生产系统 12 个 80 m³ 的

表 1 基础饲料配方

Tab.1 Formula of the basal diet

组分 Ingredients	含量 Percentage(%)
鱼粉 Fish meal	42.80
大豆粉 Soybean meal	21.20
DL-蛋氨酸 DL-methionine	2.65
鱼油 Fish oil	15.70
小麦粉 Wheat flour	10.80
小麦淀粉 Wheat starch	2.50
α -纤维素 α -Cellulose	3.50
维生素和矿物质 Vitamin and mineral	0.85

养殖池内进行。根据 β -葡聚糖添加量将 12 个养殖池随机分为 4 个组(0、0.05%、0.1%和 0.2%), 每组 3 个平行。其中, 标记无 β -葡聚糖添加的基础饲料为对照组(A 组), 0.05%葡聚糖添加组为 B 组, 0.1%葡聚糖添加组为 C 组, 0.2%葡聚糖添加组为 D 组。实验开始前, 所有组别投喂不含 β -葡聚糖的对照饲料, 实验开始后, 对相应池子的虹鳟投喂对应饲料, 投喂频率及对应投喂时间分别为 6 次/d (04:00、08:00、12:00、16:00、20:00 和 24:00), 日投喂量为鱼体重的 2%~3%, 每次投喂结束 20 min 后排出残饵, 共计投喂 30 d。

1.4 样品采集及处理

养殖实验开始前 1 d 停食, 每个养殖池随机捞取 200 尾虹鳟, 采用浓度为 200 mg/L 的 MS-222 麻醉 60 s 后抽样称重, 记录虹鳟的重量。养殖 30 d 后, 停食 1 d, 每个养殖池随机捞取 200 尾, 麻醉后抽样称重, 记录养殖实验结束后虹鳟的重量。

每个池子随机留取虹鳟 5 尾作采样鱼, 分两步进行尾静脉采血, 第一步用烘烤过的注射器在尾静脉取血 0.5 ml, 用于血液生理指标的测定, 注射器内含有肝素钠, 防止血液凝固; 第二步用 1 ml 普通注射器于鱼尾柄动脉采血 5 ml 以上, 注射器内不加抗凝剂, 在 4℃冰箱静置 5 h 后, 用离心机 4℃、12000 r/min、离心 20 min 制备血清, 血清移入-80℃保存。采血后解剖鱼体, 取出肝脏、肌肉、肾脏、头肾、脑、心脏、脾脏、胃、肠和性腺等组织用液氮速冻后, 置于-80℃冰箱保存备用。

1.5 生长指标测定

增重率(Weight gain rate, WGR)(%)=($W_t - W_0$)/ $W_0 \times 100$

特定生长率(Specific growth rate, SGR)(%/d)= $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$

肝体比(Hepatosomatic index, HIS)= W_g / W

肥满度(Condition factor, CF)= $W \times 100 / L^3$

式中, W_0 为实验开始时鱼重, W_t 为 t 时刻鱼重, t 为养殖天数(d), W_g 为鱼肝脏重(g), W 为鱼体重(g); L 为鱼标准体长(cm)。

1.6 血清生理指标的分析

采用 BC-1800 全自动血液细胞分析仪(深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司), 通过比色法测量血红蛋白浓度, 用电阻抗法检测红细胞、白细胞的数目以及体积分布, 分析仪自动计算出相应参数。

1.7 数据处理

数据采用 SPSS 17.0 统计软件包中的单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan 氏多重范围比较进行分析, 当不同处理之间有显著差异($P < 0.05$)时, 用 Tukey 检验比较不同处理间的平均值。 $P < 0.05$ 表示有显著差异, 结果均以平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)表示。

2 结果

2.1 β -葡聚糖对虹鳟生长性能的影响

由表 2 可以看出, 投喂 30 d 后, 0.05%葡聚糖添加组的 WGR(93.2%)最低, 0.05%和 0.1%葡聚糖添加组差异不显著($P > 0.05$), 但这 2 组的 WGR 都显著低于对照组($P < 0.05$), 0.2% 葡聚糖添加组 WGR 最高, 为 104.3%, 显著高于其他实验组及对照组($P < 0.05$)。投喂 30 d 后, 0.2%葡聚糖添加组 SGR 显著高于其他组($P < 0.05$), 0.05%和 0.1%组与对照组相比, 无显著差异($P > 0.05$)。投喂 30 d 后, 0.2%葡聚糖添加组 HIS(1.5%)最高, 与其他实验组及对照组的 HIS 差异显著($P < 0.05$)。投喂 30 d 后, 0.05%葡聚糖添加组 CF (1.75 g/cm²)最低, 显著低于其他实验组及对照组。各添加组的 CF 随着葡聚糖投喂量的增多而升高, 其中, 最大值出现于 0.2%葡聚糖添加组, 为 2.26 g/cm², 但各添加组 CF 均显著低于对照组($P < 0.05$)。

表 2 饲料中添加 β -葡聚糖对虹鳟生长性能的影响

Tab.2 Effects of dietary β -glucan on the growth of rainbow trout (Mean \pm SD, $n=5$)

实验组别 Experimental group	指标 Index			
	增重率 WGR(%)	特定生长率 SGR(%)	肝体比 HIS(%)	肥满度 CF (g/cm ²)
对照组 Control group	100.00 \pm 0.03 ^b	2.30 \pm 0.0006 ^a	1.20 \pm 0.002 ^a	2.80 \pm 0.08 ^c
0.05%葡聚糖组 0.05% β -glucan group	93.20 \pm 0.03 ^a	2.20 \pm 0.0005 ^a	1.20 \pm 0.001 ^a	1.75 \pm 0.06 ^a
0.1%葡聚糖组 0.1% β -glucan group	95.10 \pm 0.01 ^a	2.20 \pm 0.0005 ^a	1.00 \pm 0.002 ^a	1.98 \pm 0.06 ^b
0.2%葡聚糖组 0.2% β -glucan group	104.30 \pm 0.02 ^c	2.50 \pm 0.0004 ^b	1.50 \pm 0.001 ^b	2.26 \pm 0.04 ^b

注: 同一列上标字母相同表示差异不显著($P > 0.05$), 不同字母表示存在显著性差异($P < 0.05$)。下表同

Note: The same letters in same column are of no significant difference ($P > 0.05$), those with different letters are of significant difference ($P < 0.05$). The same as below

2.2 β -葡聚糖对虹鳟血清生理指标的影响

由表 3 可知, 投喂 30 d 后, 对照组白细胞数量最低, 为 2.44×10^{11} cell/L, 与 0.2%葡聚糖组差异不显著($P > 0.05$), 与 0.05%和 0.1%葡聚糖组差异显著($P < 0.05$)。白细胞数量最高值出现在 0.05%葡聚糖组, 为 2.76×10^{11} cell/L, 与 0.1%葡聚糖组差异不显著($P > 0.05$), 与 0.2%葡聚糖组及对照组差异显著($P < 0.05$)。投喂 30 d 后, 对照组的红细胞数量最低, 为 1.18×10^{11} cell/L, 显著低于各实验组($P < 0.05$)。0.1%葡聚糖组的红细胞数量最高, 为 1.9×10^{11} cell/L, 显著高于其他实验组及对照组($P < 0.05$)。投喂 30 d 后, 投喂 30 d 天后, 对照组血红蛋白浓度最低, 为 120.5 g/L, 显著低于各实验组($P < 0.05$)。0.1%葡聚糖组血红蛋白浓度最高, 为 146.5 g/L, 显著高于其他实验组及对照组($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料中添加 β -葡聚糖对虹鳟生长性能的影响

本研究中, 投喂 30 d 后, 0.2%葡聚糖添加组增重率最高, 显著高于其他实验组及对照组($P < 0.05$)。0.2%葡聚糖添加组的特定生长率显著高于其他组($P < 0.05$), 0.05%和 0.1%组与对照组相比, 无显著差异($P > 0.05$)。0.2%葡聚糖添加组肝体比最高, 显著高于其他实验组及对照组($P < 0.05$)。各添加组的肥满度随葡聚糖投喂量的增多而升高, 其中, 最大值出现于 0.2%葡聚糖添加组, 但各添加组肥满度均显著低于对照组($P < 0.05$)。由此可见, 饲料中添加葡聚糖在一定程度上有助于虹鳟的生长。这一结果与 Cook 等(2003)在红鲷鱼(*Pagrus auratus*)及 Misra 等(2006)在南亚野鲮

表3 饲料中添加β-葡聚糖对虹鳟血液生理指标的影响

Tab.3 Effects of dietary β-glucan on the blood physiological parameters of rainbow trout (Mean±SD, n=5)

实验组别 Experimental group	指标 Index		
	白细胞数量 Number of blood leucocytes (10 ¹¹ cell/L)	红细胞数量 Number of red blood cells (10 ¹¹ cell/L)	血红蛋白浓度 Plasma hemoglobin concentration (g/L)
对照组 Control group	2.44±0.06 ^a	1.18±0.07 ^a	120.50±8.00 ^a
0.05%葡聚糖组 0.05% β-glucan group	2.76±0.02 ^b	1.68±0.04 ^b	140.25±5.79 ^b
0.1%葡聚糖组 0.1% β-glucan group	2.74±0.03 ^b	1.90±0.11 ^c	146.50±6.30 ^c
0.2%葡聚糖组 0.2% β-glucan group	2.61±0.05 ^{ab}	1.65±0.13 ^b	137.75±5.75 ^b

(*Labeo rohita*)中的结果一致。张耀武等(2006)和陈云波等(2002)研究发现,β-葡聚糖添加量为0.4%时,可以显著提高锦鲤(*Cyprinus carpio koi*)和南美白对虾(*Penaeus vannamei*)增重率。周歧存等(2004)发现,饲料中添加免疫多糖能显著降低南美白对虾的饲料系数,提高对虾的蛋白质效率。以上报道与本研究的结果均说明,β-葡聚糖对水生动物具有促进生长的作用。

一般认为,β-葡聚糖不具有直接营养的作用,其促进生长的作用与鱼体对疾病抵抗能力的增强紧密相关(张健,2012;吴春玉等,2013)。它可以增强机体的免疫屏障,从而减少机体免疫应答所消耗的营养物质,并且降低免疫应答中的产物对摄食以及生长的抑制作用,从而促进了动物的生长(张华等,2009;吴春玉等,2013)。但Takahashi等(1999)认为,饲料中能被利用的营养成分的量是一定的,若要提高免疫功能,则饲料中营养成分的大部分须用于免疫器官及抗体的合成,而生长性能的提高,需要更多的营养物质用于生长。因此,提高动物生产性能和增强动物免疫功能是矛盾的。而Klasing(1998)认为,免疫系统所需营养物质与生长所需相比微不足道,因此,并非营养物质的再分配导致动物生产性能的下降;另一方面,免疫增强剂的免疫增强作用与疾病感染引起的免疫应激不同,后者往往伴随消耗营养的全身反应和体内代谢、营养发生变化等副作用,而免疫增强剂仅作用于免疫系统,不消耗能量及影响采食量,这与周艳萍(2008)的结果一致。因此,推测免疫增强剂不会造成动物生产性能的下降。与此同时,对β-葡聚糖促鱼虾生长作用的结果也存在不同的报道。Verlhac等(1996)认为,添加β-葡聚糖对于凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)和虹鳟促生长效果不明显。余水法等(2006)认为,葡聚糖虽然可以通过提高对虾的抗应激能力、促进其生长,但对河蟹(*Eriocheir sinensis*)的促生长作用并不明显,这与季高华等(2004)对中华鳖(*Trionyx sinensis*)幼鳖的研究结果一致。因此,β-葡聚糖的促生长作用还存在争议,这可能与不同来源的β-葡聚糖

化学结构差异影响其功效的发挥有关(Skjeremo *et al*, 2006; 蔡成岗等,2011)。

3.2 饲料中添加β-葡聚糖对虹鳟血液生理指标的影响

血液是动物体内重要的组织器官,主要有交换、运输和防御三大功能(姚泰,2002),是体内各组织器官之间以及体内组织器官与外界环境之间的桥梁,营养物质通过血液运输到各组织器官,代谢废物也通过血液运至排泄器官排出体外。当动物体受到外界因子影响而发生生理或病理变化时,这些变化会在血液指标中反映出来,因此,血液指标被广泛用来评价动物的代谢、营养状况及对环境的适应状况(何福林等,2007;周玉等,2001;吴春玉等,2013;蔡胜昌等,2015),而血液中某种血细胞的含量通常与其生理功能相关(白东清等,2010)。

白细胞是机体防御系统的重要组成部分,具有吞噬、产生抗体、传递免疫信息等功能(李佩国等,2000;赵心宇等,2010),通过血液循环系统遍及全身各器官。体内白细胞总数可以粗略反映包括骨髓成分在内的免疫系统重量,反映机体免疫功能强弱(张双红等,2010)。白细胞的总数直接反映机体的状态,其总数在血液中保持相对恒定(马美湖,1998)。刘至治等(2006)研究发现,在基础饲料中添加β-葡聚糖,能不同程度地增加中华鳖血液中白细胞的吞噬活性,从而改善中华鳖的免疫能力。Muona等(1992)研究表明,血浆中溶菌酶活性变化与循环系统中白细胞数目变化具有相关性,白细胞数目多,溶菌酶活性就增加。这也同张双红等(2010)以及汪开毓等(2011)的研究结果一致。本研究中β-葡聚糖添加组虹鳟的白细胞数量显著高于对照组,可能与溶菌酶含量的变化有关。

红细胞数量可以反映出生物体对氧气的运输、摄取以及消耗能力。红细胞数量正常情况下保持相对稳定,但环境变化会造成红细胞数量的变化(林浩然,1999)。Collazos等(1998)认为,季节变化、溶解氧、健康状况、运动强度、性腺发育的成熟度和饵料质量

等都会使红细胞数量发生变化。Siegel 等(1981)认为, 红细胞除具有携氧、运输气体等功能外, 还具有运载和清除循环免疫复合物等重要的免疫功能。红细胞是血循环中最重要的固有免疫细胞, 有识别、粘附、浓缩、杀伤抗原、清除循环免疫复合物的能力, 参与机体免疫调控, 并有完整的自我调控系统(郭峰等, 2002)。刘至治等(2006)发现, 红细胞 C3b 受体花环率与 T 淋巴细胞活性 E 花环率间存在显著正相关, 红细胞可以调节 T 淋巴细胞活性, 且同样具有免疫调节功能, 可在机体内与其他免疫细胞相互作用形成复杂的动态平衡的网络结构, 而免疫增强剂对鱼体整个免疫系统产生了积极影响, 从而使红细胞数量增多, 这与本研究结果一致。本研究中, β -葡聚糖添加组虹鳟的红细胞数量较投喂前有所升高, 结合本研究中 β -葡聚糖能够对虹鳟的生长性能和白细胞数量产生积极影响, 分析其原因, 说明 β -葡聚糖对虹鳟鱼体有生长和免疫调控等方面的综合性积极调节作用, 因而提高了红细胞这一固有免疫细胞的数量。

血红蛋白是红细胞细胞质中的一种结合蛋白, 可以与氧结合, 将氧气运送到全身各处。血红蛋白浓度与红细胞数量密切相关。本研究中, 血红蛋白浓度较投喂前有所升高, 与红细胞数目变化相符。一般来说, 血液中的红细胞越多, 血红蛋白浓度越大(施泉芳, 1991; 张耀腾, 2011)。本研究结果符合这一规律, 且与王洪海等(2010)关于葡聚糖在牛中的结果一致。

4 结论

0.05% β -葡聚糖添加组各生长指标的增长均不明显甚至有所降低。0.2% β -葡聚糖添加组的增重率、特定增长率和肝体比增长较明显。因此, β -葡聚糖的适宜添加量为 0.2%, 有明显促生长的作用; 同样, 通过测定白细胞数量、红细胞数量和血红蛋白浓度, 发现 0.2% β -葡聚糖对虹鳟血液生理指标有综合性积极调节作用。

参 考 文 献

- Anderson DP. 7-environmental factors in fish health: Immunological Aspects. *Fish Physiology*, 1996, 15: 289-310
- Bai DQ, Wei D, Ma SM, *et al.* Determination of some physiological and biochemical indexes of blood in strains of barley. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(2): 755-757 [白东清, 魏东, 马树敏, 等. 长丝鲈血液部分生理生化指标测定. *安徽农业科学*, 2010, 38(2): 755-757]
- Bei NX, Wei B, Yao G, *et al.* Study on physiological and biochemical flow of trout. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 1995(1): 9-13 [贝念湘, 魏彬, 姚刚, 等. 虹鳟生理生化血液流学常值研究. *新疆农业大学学报*, 1995(1): 9-13]
- Cai CG, Jiang XL, Jiang CH. Advances in structural and development of β -glucan. *Journal of Agricultural Products Processing*, 2011(9): 114-117 [蔡成岗, 蒋新龙, 蒋昌海. β -葡聚糖结构功能与开发研究进展. *农产品加工学刊*, 2011(9): 114-117]
- Cai SC, Zhang LM, Zhang DR, *et al.* Effects of chitosan oligosaccharide and xylo-oligosaccharide on the growth performance, body composition and serum biochemistry of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(6): 29-36 [蔡胜昌, 张利民, 张德瑞, 等. 壳寡糖与低聚木糖对大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼生长、体组成和血液生化指标的影响. *渔业科学进展*, 2015, 36(6): 29-36]
- Cao M, Chen J, Wang YC, *et al.* Advances in dextran research. *Light Industry*, 2011, 27(4): 17-20 [曹敏, 陈军, 王元春, 等. 葡聚糖的研究进展. *轻工科技*, 2011, 27(4): 17-20]
- Chen YB, Zhou HQ, Hua XM, *et al.* Effects of the addition of β -glucan on the growth, survival and feed coefficient of *Penaeus vannamei*. *Freshwater Fisheries*, 2002, 32(5): 55-56 [陈云波, 周洪琪, 华雪铭, 等. 饲料中添加 β -葡聚糖对南美白对虾的生长、存活及饲料系数的影响. *淡水渔业*, 2002, 32(5): 55-56]
- Collazos ME, Ortega E, Barriga C, *et al.* Seasonal variation in haematological parameters in male and female *Tinca tinca*. *Molecular & Cellular Biochemistry*, 1998, 183(1-2): 165-168
- Cook MT, Hayball PJ, Hutchinson W, *et al.* Administration of a commercial immunostimulant preparation, EcoActiva™ as a feed supplement enhances macrophage respiratory burst and the growth rate of snapper (*Pagrus auratus*, Sparidae (Bloch and Schneider)) in winter. *Fish & Shellfish Immunology*, 2003, 14(4): 333-345
- Fang YZ, Yang S, Wu GY, *et al.* The relationship between free radicals, antioxidants, nutrients and health. *Journal of Nutrition*, 2003, 25(4): 337-343 [方允中, 杨胜, 伍国耀. 自由基、抗氧化剂、营养素与健康的关系. *营养学报*, 2003, 25(4): 337-343]
- Guo F, Qian BH, Zhang LZ. Modern erythrocyte immunology. Shanghai Publishing Press of Second Military Medical University, 2002 [郭峰, 钱宝华, 张乐知. 现代红细胞免疫学. 上海: 上海第二军医大学出版社, 2002]
- He FL, Xiang JG, Li CJ, *et al.* A preliminary study on the influence of water temperature on the hematological parameters of rainbow trout. *Journal of Hydrobiology*, 2007, 31(3): 363-369 [何福林, 向建国, 李常健, 等. 水温对虹鳟血液学指标影响的初步研究. *水生生物学报*, 2007, 31(3): 363-369]
- Ji GH, Liu ZZ, Leng XJ. Effects of the addition of β -glucan and fructooligosaccharides on the growth and serum SOD and lysozyme activity of juvenile soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*). *Journal of Shanghai Ocean University*, 2004, 13(1): 36-40 [季高华, 刘至治, 冷向军. 饲料中添加 β -葡聚糖和低聚果糖对中华鳖幼鳖生长和血清 SOD、溶菌酶活力的影响. *上海海洋大学学报*, 2004, 13(1): 36-40]
- Klasing KC. Nutritional modulation of resistance to infectious

- diseases. Poultry Science, 1998, 77(8): 1119–1125
- Li PG, Xue RC. Animal physiology. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000, 26–28 [李佩国, 薛瑞晨. 动物生理学. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 26–28]
- Li WK, Yan HW, Cai XP, *et al.* Mechanism study of β -glucans for enhanced immune competence. Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2007, 34(7): 151–155 [李万坤, 闫鸿斌, 才学鹏, 等. β -葡聚糖的免疫增强作用机理研究进展. 中国畜牧兽医, 2007, 34(7): 151–155]
- Lin HR. Fish physiology. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1999, 7: 83–84, 222–223 [林浩然. 鱼类生理学. 广州: 广东高等教育出版社, 1999, 7: 83–84, 222–223]
- Ling T, Cheng SD, Li YW. Application of immune enhancers— β -glucan in aquatic feeds. Feed Industry, 2005, 26(12): 36–38 [凌统, 程树东, 李英文. 免疫增强剂—— β -葡聚糖在水产饲料中的应用. 饲料工业, 2005, 26(12): 36–38]
- Liu ZZ, Cai WQ, Ji GH, *et al.* Effects of several immune enhancers on the number and immune function of red blood cells in *Trionyx sinensis*. Journal of Shanghai Ocean University, 2006, 15(1): 1–6 [刘至治, 蔡完其, 季高华, 等. 几种免疫增强剂对中华鳖红细胞数量及免疫功能的影响. 上海海洋大学学报, 2006, 15(1): 1–6]
- Ma MH. Modern animal products processing. Changsha: Hunan Science and Technology Press (Second Edition), 1998: 11 [马美湖. 现代畜产品加工学. 长沙: 湖南科学技术出版社(第二版), 1998: 11]
- Mai KS, Zhang L, Tan B, *et al.* Effects of dietary beta-1, 3 glucan on innate immune response of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*. Fish & Shellfish Immunology, 2007, 22(4): 394–402
- Misra CK, Das BK, Mukherjee SC, *et al.* Effect of long term administration of dietary β -glucan on immunity, growth and survival of *Labeo rohita* fingerlings. Aquaculture, 2006, 255(1–4): 82–94
- Montero D, Tort L, Robaina L, *et al.* Low vitamin E in diet reduces stress resistance of gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. Fish & Shellfish Immunology, 2001, 11(6): 473–490
- Muona M, Antti S. Changes in plasma lysozyme and blood leucocyte levels of hatchery-reared Atlantic salmon and sea trout during parr-smolt transformation. Aquaculture, 1992, 106(1): 75–87
- Nan B, Zhang W, Mai K, *et al.* Effects of discontinuous administration of β -glucan and glycyrrhizin on the growth and immunity of white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture, 2010, 306(1–4): 218–224
- Selvaraj V, Sampath K, Sekar V. Administration of yeast glucan enhances survival and some non-specific and specific immune parameters in carp (*Cyprinus carpio*) infected with *Aeromonas hydrophila*. Fish & Shellfish Immunology, 2005, 19(4): 293–306
- Shi QF. Fish physiology. Beijing: Agricultural Press, 1991 [施泉芳. 鱼类生理学. 北京: 农业出版社, 1991]
- Siegel I, Liu TL, Gleicher N. The red-cell immune system. Lancet, 1981, 318(8246): 556–559
- Skjermo J, Storseth T, Hansen K, *et al.* Evaluation of β -(1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 6)-glucans and high-M alginate used as immunostimulatory dietary supplement during first feeding and weaning of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). Aquaculture, 2006, 261(3): 1088–1101
- Takahashi K, Onodera K, Akiba Y. Effect of dietary xylitol on growth and inflammatory responses in immune stimulated chickens. British Poultry Science, 1999, 40(4): 552–554
- Verlhac V, Gabaudan J, Obach A, *et al.* Influence of dietary glucan and vitamin C on non-specific and specific immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 1996, 143(2): 123–133
- Wang HH, Wang HX, Wang GQ. An experimental study on the treatment of calf anemia with dextran iron. Chinese Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2010, 37(7): 176–177 [王洪海, 王海霞, 王国卿. 葡聚糖铁治疗犊牛贫血的实验研究. 中国畜牧兽医, 2010, 37(7): 176–177]
- Wang KY, Chen X, Huang JL, *et al.* Effects of fructus polysaccharides on non-specific immune function of *Carassius auratus*. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(4): 630–637 [汪开毓, 陈霞, 黄锦炉, 等. 无花果多糖对鲫鱼非特异性免疫功能的影响. 水生生物学报, 2011, 35(4): 630–637]
- Wang YH. Effects of β -glucan on non-specific immunity and growth performance of *Takifugu obscurus*. Master's Thesis of East China Normal University, 2013, 5 [王永宏. β -葡聚糖对暗纹东方鲀非特异性免疫及生长性能的影响. 华东师范大学硕士研究生学位论文, 2013, 5]
- Wu CY, Cao JM, Huang YH, *et al.* Effects of β -glucan on the growth performance, body composition, serum biochemical index and anti-ammonia stress in bassiana. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(12): 3033–3040 [吴春玉, 曹俊明, 黄燕华, 等. 饲料中添加 β -葡聚糖对花鲈生长性能、体成分、血清生化指标和抗氨氮应激能力的影响. 动物营养学报, 2013, 25(12): 3033–3040]
- Yao T. Human physiology. Beijing: People's Health Publishing House, 2002 [姚泰. 人体生理学. 北京: 人民卫生出版社, 2002]
- Yu SF, Cai CF, Song XH, *et al.* Effects of β -glucan on immune function of crabs. China Feed, 2006(5): 20–22 [余水法, 蔡春芳, 宋学宏, 等. β -葡聚糖对河蟹免疫功能的影响. 中国饲料, 2006(5): 20–22]
- Zhang H, Fang RJ. Immune enhancement and growth-promoting effects of β -glucan on animals and their mechanisms. Hunan Feed, 2009(4): 29–31 [张华, 方热军. β -葡聚糖对动物的免疫增强和促生长作用及其机理. 湖南饲料, 2009(4): 29–31]
- Zhang HS. Effects of biological stress factors on immune function of broilers in different farming environment. Master's Thesis of Shandong Agricultural University, 2010, 6 [张红双. 不同养殖环境生物应激因素对肉鸡免疫功能的影响. 山东农业大学硕士研究生学位论文, 2010, 6]
- Zhang J. Effect of immune enhancers on the growth, immunity and anti-stress of *Litopenaeus vannamei* juvenile shrimp. Doctoral Dissertation of Sun Yat-Sen University, 2012, 5 [张健. 免疫增强剂对凡纳滨对虾幼虾生长、免疫及抗应激的影响. 中山大学博士研究生学位论文, 2012, 5]
- Zhang YT. The safety and clinical efficacy test of the mammals in dogs. Master's Thesis of Northeast Agricultural

- University, 2011, 6 [张耀腾. 米尔贝肝片对犬的安全性与临床疗效试验. 东北农业大学硕士研究生学位论文, 2011, 6]
- Zhang YW, Qu WJ, Li WH, *et al.* The effect of β -1,3-glucan on non-specific immunological function of Koi. *Freshwater Fisheries*, 2006, 36(4): 53–55 [张耀武, 屈文俊, 李文辉. β (1,3)-葡聚糖对锦鲤非特异性免疫功能的影响. *淡水渔业*, 2006, 36(4): 53–55]
- Zhao XY, Liu CQ, Miao XY, *et al.* C57BL/6J mice in chronic stress-induced changes in blood cells. *Chinese Journal of Gerontology*, 2010, 30(24): 3732–3733 [赵心宇, 刘纯青, 苗小艳, 等. C57BL/6J 小鼠慢性应激形成过程中血细胞变化特点. *中国老年学*, 2010, 30(24): 3732–3733]
- Zhou QC, Zheng A, Yang HJ, *et al.* Effects of vitamin C and immune polysaccharides on growth, feed utilization and major components of *Litopenaeus vannamei*. *Marine Science*, 2004, 28(8): 9–13 [周歧存, 郑艾, 阳会军, 等. 维生素 C 和免疫多糖对凡纳滨对虾生长、饲料利用和虾体主要成分的影响. *海洋科学*, 2004, 28(8): 9–13]
- Zhou Y, Guo WC, Yang ZG, *et al.* Advances in hematological parameters of fish. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2001, 10(2): 163–165 [周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展. *上海海洋大学学报*, 2001, 10(2): 163–165]
- Zhou YP. Effects of β -glucan on non-specific immunity and growth performance of *Carassius auratus gibelio*. Master's Thesis of Wuhan Institute of Technology, 2008, 6 [周艳萍. β -葡聚糖对异育银鲫非特异性免疫和生长性能的影响. 武汉工业学院硕士学位论文, 2008, 6]

(编辑 冯小花)

Effects of Dietary β -Glucan on Some Growth and Blood Physiological Indices of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)

WANG Yi^{1,2}, JI Liqin³, SUN Guoxiang⁴, LIU Ying^{1①}, WANG Shunkui⁵

(1. Aquacultural Engineering R&D Center, Dalian Ocean University, Dalian 116023; 2. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023; 3. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071; 4. Shandong Jincheng Biological Pharmaceutical Co., Ltd., Zibo 255000; 5. Shandong Oriental Ocean Co., Ltd, Yantai 264000)

Abstract The aim of this study was to study the effect of dietary β -glucan on certain growth and blood physiological indices of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The experimental animals were robust, with similar weight of (450±50) g. The control group was fed basal feed, and the experimental groups were fed basal feed supplemented with β -glucan at three concentrations: 0.05%, 0.1%, and 0.2%, three replicate tanks for each group. After 30 days of feeding, the weight gain rate (WGR) in the 0.2% β -glucan group was the highest, significantly higher than that of the other groups ($P < 0.05$). Meanwhile, the WGR of the 0.05% β -glucan group was the lowest. The specific growth rate (SGR) of the 0.2% β -glucan group was significantly higher than that of the other groups ($P < 0.05$). No significant differences in SGR were found among the 0.05% and 0.1% β -glucan groups and the control group ($P > 0.05$). The hepatosomatic index (HSI) of the 0.2% β -glucan group was the highest, significantly higher than that of the other groups ($P < 0.05$). The condition factor (CF) of the 0.2% β -glucan group was significantly lower than that of the other groups ($P < 0.05$). After 30 days of feeding, the number of leukocytes and erythrocytes and the plasma hemoglobin concentration were significantly higher in the experimental groups than in the control group ($P < 0.05$). The number of leukocytes in the 0.05% β -glucan group, which was not significantly different from that of the 0.1% β -glucan group ($P > 0.05$), was significantly higher than that of the 0.2% β -glucan group and control group ($P < 0.05$). The number of erythrocytes in the 0.1% β -glucan group was the highest, significantly higher than that in the other groups ($P < 0.05$). Furthermore, the number of erythrocytes in the β -glucan groups was significantly higher than that of the control group ($P < 0.05$). The changes in hemoglobin concentrations were consistent with changes in erythrocyte count. In conclusion, dietary β -glucan can improve the growth performance and favorably change the blood physiology indicators of rainbow trout, with the appropriate concentration of β -glucan being 0.2%.

Key words *Oncorhynchus mykiss*; β -glucan; Growth index; Blood physiological index

① Corresponding author: LIU Ying, E-mail: yingliu@dloou.edu.cn