

文章编号: 1674-7054(2023)04-0451-07



## 紫萍替代饲料对罗非鱼鱼种生长的影响

杨乔乔<sup>1</sup>, 韩冰莹<sup>2</sup>, 于博涵<sup>2,3</sup>, 赖杭桂<sup>1</sup>, 张家明<sup>2,3</sup>

(1. 海南大学热带作物学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 海口 571101;  
3. 南京农业大学生命科学学院, 南京 210059)

**摘要:** 为了探讨紫萍 (*Lemna polyrhiza*) 替代饲料对罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) 鱼种生长的影响, 在传统罗非鱼饲料中分别添加 0%、10%、15%、20%、25%、30% 的紫萍 DW2602 干粉, 按照鱼体质量 2.5%、3% 和 4% 的投喂量饲喂罗非鱼鱼种 40 d, 对罗非鱼的增重率、特定增长率、肥满度和脏体比等生长指标进行了测定。结果表明, 添加紫萍 DW2602 饲料粗蛋白含量提高了 4.3%, 粗脂肪含量下降了 0.9%, 赖氨酸含量无明显变化, 含硫氨基酸即蛋氨酸和胱氨酸总量增加了 0.1%。当浮萍替代率为 20%、投喂量 3% 时, 促进生长作用最显著, 与投喂普通饲料相比, 增重率提高了 57.5%, 特定增长率比对照组提高 30.3%, 肥满度和脏体比分别比对照组下降 6.4% 和 5.5%。说明传统饲料中添加适当比例的紫萍干粉, 能促进罗非鱼生长。

**关键词:** 浮萍; 紫萍; 植物蛋白源; 鱼饲料; 罗非鱼

**中图分类号:** S 965.125 **文献标志码:** A

**引用格式:** 杨乔乔, 韩冰莹, 于博涵, 等. 紫萍替代饲料对罗非鱼鱼种生长的影响 [J]. 热带生物学报, 2023, 14(4): 451-457. DOI: 10.15886/j.cnki.rdxwb.2023.04.013

浮萍是浮萍科浮水植物, 其分布范围广泛, 全世界共有 5 个属, 分别是青萍属 (*Lemna*)、紫萍属 (*Spirodela*)、兰氏萍属 (*Landoltia*)、芜萍属 (*Wolffia*) 和扁芜萍属 (*Wolffiella*), 共 37 个种<sup>[1-2]</sup>, 常见于河流、湖泊和稻田。目前浮萍已被认为是潜力巨大的新型非粮生物质原料之一, 其经济价值较高, 不仅可以入药, 还可以作为饲料。浮萍除了作为淡水鱼饲料, 还可净化养殖水体<sup>[3]</sup>, 但是鲜浮萍的含水量很高 (89%~91%), 且野生生长环境水体质量较差, 可能含有细菌和寄生虫, 因此, 直接饲喂禽畜等动物有一定风险<sup>[4]</sup>。多年来, 以色列和孟加拉国的农民种植浮萍作为鱼饲料, 将烘干的浮萍出口到欧洲<sup>[5]</sup>。浮萍产量是大豆的 10 倍, 可以在 2~4 d 增加 1 倍。烘干后其蛋白质含量约为 35%~50%, 与大豆蛋白质含量相当, 且种植成本低。我国在 20 世纪 50 年代就有将浮萍用于饲养草鱼的文献记载。将浮萍作为饲料养猪、鹅等禽畜及其他水产动物的研究也有报道<sup>[6]</sup>。据报道, 将

浮萍作为补充饲料养殖银鲤、罗非鱼等水生动物, 能够有效促进鱼的生长<sup>[7]</sup>。

罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*), 俗称非洲鲫鱼, 是世界水产业重要的慈鲷科淡水养殖鱼类, 被誉为未来动物性蛋白质的主要来源之一<sup>[8]</sup>。绝大部分罗非鱼是杂食性, 有很强的适应能力。通常生活于淡水中, 也能生活于不同盐含量的咸水中, 能够在面积狭小的水域中繁殖。近年来, 罗非鱼养殖场增多, 行业竞争激烈。如何在为罗非鱼提供适口饲料的同时降低养殖成本, 是一个重要的课题。浮萍是淡水鱼喜食的天然优质饲料, 繁殖快, 产量高, 养殖成本低, 是一种廉价的饲料源和蛋白源<sup>[4]</sup>, 目前还没有发现其含有对淡水鱼不利的成分。本研究利用海南岛本土高蛋白浮萍干粉, 按不同比例添加到传统饲料中, 研究浮萍部分替代传统饲料对罗非鱼生长的影响, 以期获得一条降低饲料成本、促进罗非鱼生长的途径。

收稿日期: 2022-02-25

修回日期: 2022-05-09

基金项目: 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金项目 (1630052020022, 1630052020020)

第一作者: 杨乔乔 (1996-), 女, 海南大学热带作物学院 2019 级硕士研究生. E-mail: 781686487@qq.com

通信作者: 张家明 (1966-), 男, 研究员. 研究方向: 农业新资源与农村生态. E-mail: zhangjiaming@itbb.org.com

## 1 材料与方 法

**1.1 高蛋白浮萍品种的筛选及大规模繁育** 在前期研究中,本实验室筛选到3个海南省本土高产浮萍品种,分别是紫萍 DW2602、兰氏萍 DW2701及稀脉萍 DW1301。浮萍经过培养获得生物质后,测定其含水量、粗蛋白及氨基酸含量。综合浮萍生长情况及营养成分,选择最好的品种作为本试验饲料添加的原料。笔者将高蛋白浮萍品种从实验室无菌环境转移到室外进行适应性培养后,再转移到人工池塘内养殖,每667 m<sup>2</sup>(亩)每月施用5 kg复合肥。

**1.2 浮萍材料的收集与处理** 从人工水塘定期捞取的浮萍,用自来水清洗干净,装入网袋置于甩干机中甩干,然后在烘箱中60℃烘干。使用破壁机(JP05D-1300,苏泊尔股份有限公司,中国浙江)将干浮萍打磨成粉,过0.42 mm网筛,装入塑封袋于干燥柜中保存备用。

**1.3 浮萍干粉的微生物指标测定** 将浮萍干粉送海南省进出口检验检疫局进行微生物指标测定。志贺氏菌按照国标 GB 4789.5—2012方法测定,沙门氏菌按照 GB 4789.4—2016方法测定,霉菌总数按照 GB 4789.15—2016第一法测定,菌落总数按照 GB 4789.2—2016方法测定。

**1.4 不同添加比例的浮萍颗粒饲料制备** 以罗非鱼养殖企业(渔场)常用的膨化配方饲料156(通威集团,中国成都)为对照,本实验按照0、10%、15%、20%、25%和30%的比例在膨化配方饲料中添加浮萍干粉。添加浮萍干粉具体做法:将饲料156打碎磨粉,过0.42 mm网筛,分别按上述比例添加浮萍干粉,加入少量山梨酸钾复配防腐剂(坤达生物有限公司,中国山东),混合均匀,加适量水后,用制粒机(MGD-120,中国广东)重新制成直径2 mm左右的颗粒饲料,烘干后用塑料袋密封保存于4℃。

**1.5 浮萍添加量和投喂量对罗非鱼生长的影响** 将大小相近的尼罗罗非鱼鱼种(12.25±0.25) g,购自海南省澄迈县山琼村鱼苗养殖场)分成54组(表1),每组6条,分池(45 L水)静养1~2 d,用少量对照饲料开食。然后,分别投喂上述制备好的含浮萍0、10%、15%、20%、25%和30%的颗粒饲料,分别按照鱼体质量2.5%、3%和

4%的投喂量饲喂,共18个处理。每个处理3次重复。每天定时投喂3次(9:00, 13:00, 17:30)。每10 d称重1次,根据罗非鱼生长情况相应增加投喂量。依据天气情况和水体质量,实验水体用气泵增氧。除此之外,每个水池每2天换1/3的水,并清理粪便1次。实验周期为40 d。

表1 试验分组

饲料投喂量	浮萍添加量/%					
	0	10	15	20	25	30
A	A1	A2	A3	A4	A5	A6
B	B1	B2	B3	B4	B5	B6
C	C1	C2	C3	C4	C5	C6

注:饲料投喂量为鱼体质量2.5%(C)、3%(B)和4%(A)。

**1.6 罗非鱼的生长指标分析** 在养殖前测定鱼种鱼体质量、长度并拍照记录。实验结束后停喂1 d,再测定体质量和长度,计算成活率、增重率、肥满度。从每组抽选1条罗非鱼解剖,测定其脏体比<sup>[9]</sup>。

**1.7 最佳配比饲料的营养成分分析** 根据罗非鱼生长情况,选择实验中最优浮萍饲料配比,将该浮萍饲料与购买的原始饲料的水中稳定性以及营养成分如水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、赖氨酸、含硫氨基酸(蛋氨酸+胱氨酸)含量进行测定分析。

**1.8 数据处理与统计分析** 浮萍原料及颗粒饲料的各项指标检测均按照国家标准进行。按 SC/T 1077—2004 标准做水中稳定性的测定;按 GB/T 6435—2014 标准做含水量的测定;按 GB/T 6438—2007 标准做灰分的测定;按 GB/T 6432—2018 标准做蛋白质的测定[全自动凯氏定氮仪(Kjeltec8400,福斯分析仪器公司,丹麦)];按 GB/T 5009.6—2016 标准做粗脂肪的测定;按 GB/T 6434—2006 标准做粗纤维的测定;按 GB/T 18246—2019 标准做氨基酸含量的测定。以上检测均由海南省进出口检验检疫局完成。

罗非鱼的生长指标计算如下:

增重率(WG)=(试验终鱼体质量-试验初鱼体质量)/试验初鱼体质量×100%<sup>[4]</sup>,

特定生长率(SGR/d)=(ln 试验终鱼体质量-ln 试验初鱼体质量)/试验天数×100%<sup>[4]</sup>,

肥满度 (CF)=(试验终鱼体质量/试验终末鱼体长) $\times 100\%$ <sup>[4]</sup>,

脏体比 (HSI)=(试验终鱼内脏重/试验终鱼体质量) $\times 100\%$ <sup>[10]</sup>。

使用 WPS2019 和 SPSS Statistics 17 软件对试验数据进行整理分析, 差异显著性分析使用新复极差法 (Duncan 法)<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 海南本地 3 个高产浮萍品种的营养成分分析

DW1301、DW2602、DW2701 是通过前期研究从海南本地 200 余份浮萍种质资源中筛选出的

高产品种。本研究测定了这 3 个品种的主要营养指标 (表 2)。从表 2 可见, 3 个浮萍品种的蛋白质含量都较高, 其中紫萍 DW2602 的粗蛋白含量最高, 达到 44.52%, 游离氨基酸和游离赖氨酸含量也最高, 分别为 16.23% 和 0.78%。DW2701 粗蛋白含量最低 (35.04%)。因此, 笔者选择 DW2602 作为进一步研究材料。

### 2.2 浮萍原料微生物学检测结果

人工水塘养殖的紫萍 DW2602 干粉的微生物学检测结果见表 3。从表 3 可见, 沙门氏菌、志贺氏菌未检出, 霉菌总数及菌落总数未超标, 符合国家标准, 可以作为饲料的原料成分使用。

表 2 海南 3 个浮萍高产品种的主要营养成分

浮萍品种	干物质量	粗蛋白含量	游离氨基酸	游离赖氨酸	游离蛋氨酸	游离胱氨酸
DW1301	4.79 $\pm$ 0.04e	39.62 $\pm$ 0.22c	15.03	0.70	0.25	0.19
DW2602	5.57 $\pm$ 0.08c	44.52 $\pm$ 0.42a	16.23	0.78	0.25	0.19
DW2701	5.61 $\pm$ 0.10c	35.04 $\pm$ 0.23e	13.01	0.51	0.20	0.13

注: 不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表 3 紫萍干粉微生物学检测结果

	沙门氏菌	志贺氏菌	霉菌总数/(CFU·g <sup>-1</sup> )	菌落总数/(CFU·g <sup>-1</sup> )
浮萍原料	--	--	20	12 000
国家标准	不得检出	不得检出	$\leq 30 000$	$\leq 30 000$

### 2.3 浮萍替代率和投喂量对罗非鱼生长的影响

经预实验发现, 投喂量为鱼体质量的 4% 时, 每次投喂的饲料均有较多剩余。因此, 终止了 4% 投喂量的所有处理。浮萍替代率为 30% 时, 饲料外观颜色较深, 罗非鱼进食情况不理想, 投喂的饲料也有较多剩余, 分散在水中。因此, 替代率为 30% 的处理也被终止。正式实验采用了 0、10%、15%、20%、25% 等 5 个替代率, 以及 2.5% 和 3% 两个投喂量。

用 10%~25% 的浮萍替代传统饲料饲喂罗非鱼 40 d, 罗非鱼成活率从 92.5% 提高到 95%~100% (表 4)。由表 4 可见, 当投喂量为鱼体质量 3% 时, 所有浮萍替代比例的饲料在罗非鱼增重率方面都优于传统饲料。替代率为 20% 时, 罗非鱼增重率最高, 达到 295.9%, 比对照组提高了 57.5%。替代率增加到 25% 时, 罗非鱼增重率与 20% 替代率相比有所下降, 但仍比对照组增加 49.6%。投喂

量为鱼体质量 2.5% 时, 也是 20% 替代率的罗非鱼增重率最高, 比投喂量为 3% 的传统饲料的罗非鱼增重率还高 51.4%。因此, 使用浮萍替代传统饲料还可以在减少罗非鱼养殖饲料用量的情况下, 获得更高产量。

用浮萍替代部分传统饲料还能增加罗非鱼特定生长率, 减少肥满度, 降低脏体比。替代率为 20% 时, 上述 3 个指标最好 (表 4), 在投喂量为鱼体质量 3% 时, 特定生长率达到 3.44%/d, 比对照组提高 30.3%; 肥满度为 2.48%, 比对照组下降 6.4%; 脏体比为 8.47%, 比对照组下降 5.5%。

### 2.4 浮萍最佳替代饲料的营养价值及效用评价

由于用 20% 浮萍品种 DW2602 干粉替代传统饲料饲喂罗非鱼, 取得最好的养殖结果, 所以研究了 20% 浮萍替代饲料的营养价值 (表 5), 结果表明, 20% 浮萍替代饲料各项指标都符合国家标准, 其中, 粗蛋白、粗纤维和含硫氨基酸高于传统

表4 浮萍干粉替代传统饲料对罗非鱼生长的影响

饲料	投喂量/%	成活率/%	增重率/%	肥满度/%	特定生长率/(%·d <sup>-1</sup> )	脏体比/%
0%浮萍饲料	3	92.5	187.89±2.14h	2.65±0.04a	2.64±0.02h	8.96±0.07
10%浮萍饲料	3	95	227.62±2.69f	2.64±0.08a	2.97±0.06f	8.77±1.57
	2.5	97.5	211.56±2.04g	2.51±0.05bc	2.84±0.02g	8.73±0.97
15%浮萍饲料	3	97.5	260.82±4.37d	2.56±0.05ab	3.21±0.03d	8.58±1.79
	2.5	95	245.58±2.69e	2.45±0.07bcd	3.10±0.02e	8.55±1.34
20%浮萍饲料	3	97.5	295.92±1.76a	2.48±0.02bcd	3.44±0.01a	8.47±0.43
	2.5	100	284.49±1.76b	2.41±0.07cde	3.37±0.08ab	8.49±0.45
25%浮萍饲料	3	95	280.95±3.01b	2.39±0.03de	3.34±0.02bc	8.53±1.36
	2.5	95	273.06±2.04c	2.34±0.09e	3.29±0.07c	8.51±0.62

注:数据±为平均值标准误差。同列中小写字母不同表示组间差异显著( $P<0.05$ ),小写字母相同表示组间差异不显著( $P<0.05$ )。

表5 浮萍配方饲料的营养成分

饲料	水中稳定性	水分	灰分	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	含硫氨基酸	赖氨酸
传统饲料	7.8	11.4	13.1	38.7	8.1	4.2	1.0	1.68
20%浮萍饲料	9.1	9.8	10.7	43.0	7.2	5.9	1.1	1.67
国家标准	≤10.0	≤12.5	≤14	≥28	≥6	≤6	≥0.8	≥1.6

饲料,粗脂肪比传统饲料略低,赖氨酸含量无明显差异,含水量、灰分有所降低。水分含量降低可能是因为饲料在重新加工制成颗粒后经历了再次烘干的过程,而灰分与粗脂肪含量降低是由于浮萍灰分和脂肪含量较低。粗蛋白含量明显提高,粗纤维含量也略有升高,这与添加的浮萍原料营养特性相符。20%浮萍替代饲料保藏2个月后,表观颜色无明显变化,颗粒大小均匀,无发霉变质、结块、虫害现象,具有饲料正常气味。说明该饲料储存性能较好。

### 3 讨论

**3.1 利用野生浮萍培育高产优质饲料型浮萍新品种的前景** 浮萍是水生漂浮草本植物,已有较多研究其营养价值的报道。然而,由于所用品种和养殖条件不同,不同研究所报道的营养成分差异很大。Culley等<sup>[12]</sup>利用市政废水养殖紫萍(*S. polyrhiza*),所得浮萍粗蛋白含量为32.7%。Sutton等<sup>[13]</sup>用市政废水混合养殖小叶浮萍(*L. minor*)和膨叶浮萍(*L. gibba*),所得生物质粗蛋白含量约为39%。姚茂桂<sup>[4]</sup>测定稀脉萍(*L. aequinotialis*)粗蛋

白含量为30.5%。Appenroth等<sup>[14]</sup>研究了11种无根萍的营养成分,其粗蛋白约为20%~35%,脂肪含量约为4%~7%,赖氨酸含量为4.8%,甲硫氨酸和半胱氨酸含量均为2.7%,苯丙氨酸和酪氨酸含量均为7.7%,氨基酸组成非常接近WHO推荐的标准。本研究通过筛选获得的紫萍品种DW2602蛋白含量高达44.5%,为高蛋白浮萍品种。本研究将紫萍DW2602与常见的粮食作物及其他的蛋白源(蛋白质的数据来源:<http://nutritiondata.self.com>; <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods>)相比,其蛋白含量可以与大豆相媲美,远高于大米、小麦、玉米等(图1)。

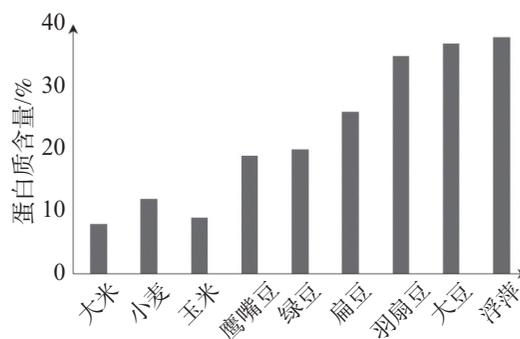


图1 不同来源的蛋白质含量对比

浮萍科植物的产量很高,在营养充足的废水中养殖浮萍,产量更高。利用市政废水养殖紫萍(*S. polyrhiza*),单位面积年收获干浮萍 34 t·hm<sup>-2</sup>;用养猪场废水养殖紫萍,单位面积年获得蛋白质 9.8 t·hm<sup>-2</sup> 和淀粉 6.9 t·hm<sup>-2</sup>[15]。

本研究使用的紫萍 DW2602 生长速度很快,在营养充足、没有病虫害、舒适的培养环境中,紫萍 DW2602 的年平均干物质产量约为 17~30 t·hm<sup>-2</sup>。按照 44.5% 的蛋白质含量计算,养殖紫萍 DW2602,每年可以获得蛋白质产量 7.6~13.3 t·hm<sup>-2</sup>,远高于大豆蛋白产量。在饲料中添加 20% 的紫萍 DW2602,能够使原料的成本降低 19% 左右。另外,紫萍 DW2602 的游离赖氨酸含量是普通玉米的 2.89 倍,添加浮萍可以有效的增加饲料赖氨酸总量。

**3.2 浮萍的投喂量对罗非鱼生长的影响** 饲料蛋白质水平对罗非鱼生长有显著影响。刘伟[16]的研究结果表明,饲料蛋白水平为 35% 时,罗非鱼的增重率、特定生长率和饲料效率要显著高于 25% 蛋白水平。胡国成等[17]研究了 3 种蛋白水平(23.1%、37.6% 和 47.9%) 饲料对尼罗罗非鱼生长的影响,结果表明随着饲料蛋白质含量的上升,罗非鱼平均日增重从 0.30 g·d<sup>-1</sup> 上升到 0.74 g·d。但也有研究表明,当蛋白质水平超过鱼体的需要量时,罗非鱼的生长性能不会继续提高[18]。强俊等[19]的研究结果表明,饲料蛋白水平(25%~45%) 对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能没有显著影响;尼罗罗非鱼幼鱼特定生长率随蛋白质水平的升高而升高,但饲料蛋白质水平高于 45% 时,特定生长率缓慢下降。

由于浮萍具有较高的蛋白质含量,在饲料中添加浮萍,可以显著提高饲料中蛋白质含量,是替代鱼粉配制高蛋白饲料的优质原料,但是,添加比例对罗非鱼生长有显著影响。本研究使用的紫萍品种 DW2602 蛋白质含量为 44.5%,利用其替代 20% 传统饲料时,饲料粗蛋白含量提高了 4.3%,粗脂肪下降了 0.9%,赖氨酸含量无明显变化,含硫氨基酸即蛋氨酸和胱氨酸总量增加了 0.1%,用该饲料养殖罗非鱼幼鱼,增重率比对照提高了 57.5%;当浮萍替代率提高到 25%,罗非鱼增重率只比对照增加 49.6%,与 20% 替代率相比有所下降。当浮萍干粉替代率为 25% 时,饲料粗蛋白含量提高

到 43.2%,并没有达到可能导致罗非鱼特定生长率缓慢下降的 45% 的粗蛋白水平[19]。究其原因,可能不能用蛋白质含量超过罗非鱼的需求解释,因此特定生长率下降可能另有原因。

已有较多研究表明,在饲料中添加适当比例的浮萍能促进养殖动物生长发育。张植元等[10]研究了在饲料中添加 0~14% 浮萍干粉对锦鲤生长发育的影响,当浮萍添加量为 14% 时,锦鲤特定生长率显著高于低浮萍水平的饲料组。酪氨酸是动物黑色素合成的前体,由于浮萍酪氨酸含量丰富,在添加量为 0~14% 时,随着添加量的增加,与黑色素合成相关的限速酶—酪氨酸酶 TYR 基因在锦鲤皮肤中的表达量逐渐上调[20]。文献 [10,12] 两项报道所用的浮萍添加量都较低。埃及研究人员用浮萍干粉替代 5%~100% 的鱼粉制备颗粒饲料喂罗非鱼,用不添加浮萍的饲料作对照,结果表明,替代率为 20% 时,罗非鱼的日增重、特定生长率、饲料转换率、蛋白质效率比值等参数与对照无差异;当替代率为 100% 时,上述参数比对照差[5]。Bairagi 等[21]利用 10%、20%、30% 和 40% 的经过发酵和不发酵的紫萍干粉喂养野鲮幼鱼,在不发酵的饲料组合中,10% 添加量最好;在发酵的饲料组合中,30% 的添加量最好[21],说明通过发酵,可以提高浮萍的添加量。

使用高蛋白浮萍干粉替代部分鱼粉不仅可促进鱼类生长,还能降低罗非鱼的肥满度和脏体比。一般认为,肝体指数、脏体指数和肥满度是表明鱼体营养状态的间接指标[22],而脏体指数及肥满度随浮萍含量的提高而降低,这可能与饲料中的碳水化合物有关。低蛋白饲料中过多的碳水化合物在鱼体内转化成脂肪,沉积在脏体中,进而导致脏体比提高,在对奥尼罗非鱼的研究中也有类似的现象[23]。

## 4 结 论

用高营养价值的紫萍新品种 DW2602 干粉替代部分传统罗非鱼饲料显著促进罗非鱼鱼种生长,替代比例以 20% 最佳。当浮萍替代率为 20%,饲料粗蛋白含量比原饲料提高了 4.3%,与对照组相比,幼鱼增重率提高了 57.5%,特定生长率提高了 30.3%,肥满度和脏体比分别下降了 6.4% 和 5.5%。因此,紫萍新品种 DW2602 在罗非鱼产业中具有很大推广应用前景。

## 参考文献:

- [1] XU Y, MA S, HUANG M, et al. Species distribution, genetic diversity and barcoding in the duckweed family (Lemnaceae) [J]. *Hydrobiologia*, 2015, 743(1): 75 – 87.
- [2] 于昌江, 朱明, 马玉彬, 等. 新型能源植物浮萍的研究进展[J]. *生命科学*, 2014(5): 458 – 464.
- [3] 侯文华, 宋关玲, 汪群慧. 浮萍在水体污染治理中的应用[J]. *环境科学研究*, 2004, 17(S1): 70 – 73.
- [4] 姚茂桂. 浮萍的营养成份及其在草鱼养殖中的应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- [5] 任维美. 浮萍可用作鱼饲料蛋白源[J]. *饲料与畜牧*, 2000(2): 25 – 26.
- [6] 李新波, 蔡发国, 邓岳松. 浮萍饲用价值研究进展[J]. *饲料研究*, 2011(10): 3 – 6.
- [7] KABIR A, HOSSAIN M A, RAHMAN M S. Use of duckweed as feed for fishes in polyculture [J]. *Journal of Agriculture & Rural Development*, 2009(1): 157 – 160.
- [8] 潘庆. 罗非鱼的营养与饲料[J]. *饲料与畜牧*, 2016(1): 2.
- [9] 李成, 秦溱, 李金龙, 等. 不同蛋白水平饲料对光倒刺鲃幼鱼生长、消化酶及体成分的影响[J]. *饲料工业*, 2018, 39(24): 34 – 39.
- [10] 张植元, 范泽, 李静辉, 等. 饲料浮萍水平对黄金锦鲤生长性能、消化酶活力及抗氧化能力的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2017, 32(4): 416 – 421.
- [11] 李永宏, 黄清臻. 新复极差法在生物统计中的应用[J]. *医学动物防制*, 2002, 18(5): 270 – 272.
- [12] CULLEY D, EPPS ERNEST A. Use of duckweeds for waste treatment and animal feed [J]. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 1973, 45(2): 337 – 347.
- [13] SUTTON D L, ORNES W H. Phosphorus removal from static sewage effluent using duckweed [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1975, 4(3): 367 – 370.
- [14] APPENROTH K J, SREE K S, BÖHM V, et al. Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food [J]. *Food Chemistry*, 2017, 217: 266 – 273.
- [15] XU J, CHENG J J, STOMP A M. Growing *Spirodela polyrrhiza* in swine wastewater for the production of animal feed and fuel ethanol: a pilot study [J]. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 2012, 40(7): 760 – 765.
- [16] 刘伟. 饲料蛋白质水平与投喂策略对吉富罗非鱼生长和健康的影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [17] 胡国成, 李思发, 何学军, 等. 不同饲料蛋白质水平对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼生长和鱼体组成的影响[J]. *饲料工业*, 2006, 27(6): 24 – 27.
- [18] ABDEL-TAWWAB M, AHMAD M H, KHATTAB Y A E, et al. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*(L.) [J]. *Aquaculture*, 2010, 298(3/4): 267 – 274.
- [19] 强俊, 杨弘, 王辉, 等. 温度与饲料蛋白质水平对吉富品系尼罗罗非鱼 (*Oreochromis nilotica*) 幼鱼生长和血清生长激素水平的影响[J]. *动物营养学报*, 2012, 24(8): 1589 – 1601.
- [20] 张植元, 魏东, 乔秀亭, 等. 饲料浮萍水平对大正三色锦鲤 *TYR* 及 *MC1R* 基因表达的影响[J]. *水产科学*, 2017, 36(2): 172 – 177.
- [21] BAIRAGI A, GHOSH K S, SEN S K, et al. Duckweed (*Lemna polyrrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff in formulated diets for Rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium [J]. *Bioresource Technology*, 2002, 85(1): 17 – 24.
- [22] CHELLAPPA S, HUNTINGFORD F A, STRANG R H C, et al. Condition factor and hepatosomatic index as estimates of energy status in male three-spined stickleback [J]. *Journal of Fish Biology*, 1995, 47(5): 775 – 787.
- [23] 乐贻荣, 杨弘, 徐起群, 等. 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) 生长、免疫功能以及抗病力的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2013, 44(2): 493 – 498.

## Effects of giant duckweed DW2602 as feed supplement on the growth of tilapia fingerlings

YANG Qiaoqiao<sup>1</sup>, HAN Bingying<sup>2</sup>, YU Bohan<sup>2,3</sup>, LAI Hangui<sup>1</sup>, ZHANG Jiaming<sup>2,3</sup>

(1. School of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan, 570228; 2. Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101; 3. School of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210059, China)

**Abstract:** Leaf meal of giant duckweed (*Lemna polyrhiza*) variety DW2602 was used as a feed supplement in the conventional tilapia feed at a rate of 0, 10%, 15%, 20%, 25% and 30%, respectively, and fed to tilapia fingerlings at the feeding rate of 2.5%, 3%, and 4% of tilapia body weight for 40 days. The growth indexes of the tilapia fingerlings fed with the giant duckweed leaf meal as feed supplement, such as weight gain, specific growth rate, condition factor, viscerosomatic index, etc. were determined. The results indicated that the tilapia fingerlings fed with the tilapia feed supplemented with the giant duckweed leaf meal increased their crude protein content by 4.3%, reduced their crude oil by 0.9%, and enhanced their sulfur-containing amino acids (methionine and cysteine) by 0.1% as compared to those fed only with the conventional feed, and that no obvious change was measured in their lysine content. The giant duckweed leaf meal used as feed supplement promoted the growth of tilapia ( $P < 0.05$ ). The conventional feed supplemented with 20% of giant duckweed leaf meal at a feeding rate of 3% of the tilapia body weight significantly promoted the growth of tilapia, and increased tilapia weight gain by 57.5% and the specific growth rate by 30.3% and reduced the condition factor and viscerosomatic index by 6.4% and 5.5%, respectively, as compared to the 100% conventional feed. This indicates that supplement of giant duckweed leaf meal in the conventional tilapia feed at a given rate promotes the growth of tilapia.

**Keywords:** duckweed; giant duckweed; plant protein source; fish feed; tilapia

(责任编辑:叶 静)