

# 混合植物蛋白源对罗非鱼幼鱼生长、 体组成及表观消化率的影响\*

仲维玮<sup>1</sup> 文华<sup>2,3\*\*</sup> 蒋明<sup>2,3</sup> 吴凡<sup>2,3</sup> 袁丹宁<sup>1</sup> 刘太亮<sup>1</sup> 刘伟<sup>2,3</sup>

1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070;

2. 中国水产科学研究院淡水生态与健康养殖重点实验室/长江水产研究所, 荆州 434000;

3. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 无锡 214081

**摘要** 以混合植物蛋白源(棉粕/菜粕/玉米蛋白粉/蚕豆的质量比为1:1:1:1)分别替代0%、25%、50%、75%、100%鱼粉, 配制5组等氮(粗蛋白为30%)、等能(总能为20 kJ/g)的饲料, 探讨混合植物蛋白源替代鱼粉对初始体质量为(7.16±0.81) g的尼罗罗非鱼幼鱼生长、体组成及消化率的影响, 试验期为10周。结果表明:混合植物蛋白源替代25%~75%鱼粉时, 罗非鱼的质量增量、特定增长率、蛋白质效率和饲料系数与对照组无显著差异, 替代100%鱼粉时, 罗非鱼的质量增量、特定增长率和蛋白质效率显著低于其他处理组, 饲料系数显著高于其他处理组;混合植物蛋白源替代鱼粉对鱼体的肝体比、脏体比无显著影响;随着混合植物蛋白源替代比例的升高, 罗非鱼全鱼粗蛋白质、灰分含量显著降低, 粗脂肪含量显著升高, 但肌肉的营养组成不受影响;除组氨酸含量随替代比例的增加而升高外, 混合植物蛋白源替代鱼粉对鱼体肌肉的必需氨基酸、总氨基酸无显著影响, 100%替代组的肌肉呈味氨基酸占总氨基酸比例显著低于对照组, 而其他处理组与对照组无显著差异;100%替代组的蛋白质和氨基酸消化率显著低于25%、50%、75%替代组和对照组, 但各处理组的脂肪消化率差异不显著。本试验条件下, 以生长、体组成及消化率为评价指标, 罗非鱼饲料中以混合植物蛋白源替代75%鱼粉是可行的。

**关键词** 尼罗罗非鱼; 混合植物蛋白源; 鱼粉; 生长; 表观消化率

**中图分类号** S 96 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2010)03-0356-07

尼罗罗非鱼的遗传性状稳定, 具有杂交优势, 适宜作亲本养殖, 是我国重要的水产养殖对象;但由于作为该鱼配合饲料的重要蛋白源——鱼粉的资源紧缺, 需求量增加以及价格上涨, 导致罗非鱼的养殖成本升高, 因此寻求鱼粉的替代蛋白源成为罗非鱼饲料的研究热点。已有不少研究者开展了使用植物性蛋白源替代罗非鱼饲料鱼粉的研究, 但主要集中在单一植物蛋白源, 如:豆粕<sup>[1]</sup>、棉粕<sup>[2]</sup>、菜粕<sup>[3]</sup>等, 单一植物蛋白源由于缺乏某种或某些必需氨基酸, 以及含有一种或多种抗营养因子, 限制其在饲料中的应用。研究发现混合植物蛋白源能够改善单一植物蛋白源的不足<sup>[4]</sup>, Borgeson等<sup>[5]</sup>也证实罗非鱼饲料中混合植物蛋白源替代鱼粉效果优于单一植物蛋白源。

笔者用棉粕、菜粕、玉米蛋白粉及蚕豆组成的混

合植物蛋白源替代鱼粉, 研究混合植物蛋白源对罗非鱼生长、体组成及表观消化率的影响, 旨在为罗非鱼养殖配合饲料的配制、生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验鱼

试验鱼由长江水产研究所试验场提供, 初始体质量为(7.16±0.81) g, 其原种为长江水产研究所2002年从苏丹引进。正式试验前先暂养于养殖桶中, 药浴消毒, 并用商品饲料驯养2周, 让其适应试验条件与试验饲料。

### 1.2 试验设计与试验饲料

试验饲料以鱼粉、豆粕、棉粕、菜粕、玉米蛋白粉、蚕豆为蛋白源, 混合植物蛋白源(棉粕/菜粕/玉

收稿日期:2009-05-27; 修回日期:2010-03-06

\* 2007年公益性行业(农业)科研专项经费(nyhyzx07-044)、罗非鱼现代产业技术体系建设(nycytX-48-9)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心)资助

\*\* 通讯作者. E-mail: wenhua\_hb@163.com

仲维玮, 女, 1984年生, 硕士研究生. 研究方向: 水产动物营养与饲料. E-mail: yylotus521@163.com

米蛋白粉/蚕豆的质量比为1:1:1:1)分别替代0%、25%、50%、75%、100%的鱼粉(对照组、PM25、PM50、PM75、PM100),配制成5组等氮(30%)等能(20 kJ/g)饲料,饲料配方及营养成分实测值见表1,饲料氨基酸含量实测值见表2。各原料粉碎过0.2 mm筛,称量后混匀,利用小型绞肉机制成直径为2 mm的颗粒饲料,自然风干后,置于-20℃冰箱中储藏、备用。

表1 试验饲料的原料组成及营养成分

Table 1 Ingredients and proximate chemical composition of the experimental diets

项目 Item	试验饲料 Experimental diets				
	对照组 Control	PM25	PM50	PM75	PM100
鱼粉 Fish meal	24	18	12	6	0
豆粕 Soybean meal	26	26	26	26	26
混合植物蛋白源 PM <sup>1)</sup>	0	12	22	32	42
面粉 Wheat starch	21.9	15.9	11.9	7.9	3.9
米糠 Wheat bran	16	16	16	16	16
羧甲基纤维素 CMC	2	2	2	2	2
鱼油 Fish oil	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
玉米油 Corn oil	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
复合无机盐 Mineral premix <sup>2)</sup>	4	4	4	4	4
复合维生素 Vitamin premix <sup>2)</sup>	1	1	1	1	1
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
干物质 Dry matter/%	89.96	90.56	90.35	88.10	90.41
粗蛋白 Crude protein/%	30.63	30.79	29.84	29.52	29.61
粗脂肪 Crude lipid/%	12.94	10.87	10.58	10.25	9.57
灰分 Ash/%	9.72	9.13	8.70	8.07	7.78
总能 Gross energy/(kJ/g) <sup>3)</sup>	20.37	20.02	19.97	19.99	19.89

1)PM:混合植物蛋白源 Plant protein mixture; 2)根据 Hsieh 等<sup>[6]</sup>配制无机盐预混料和维生素预混料 According to Hsieh formula<sup>[6]</sup>; 3)根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量(23.6、39.5和17.2 kJ/g)计算饲料的能量 Dietary gross energy was calculated according to 23.6,39.5,17.2 kJ/g for protein,lipid and carbohydrate, respectively.

### 1.3 饲养试验

每组饲料设置3个重复,每个重复30尾罗非鱼,饲养于400 L的养殖桶中。每天投喂3次(08:30、12:30、16:30),投喂量为体质量的1%~3%,每2周称量1次,根据体质量变化调整投喂量,每次投喂之前清除桶底的残饵和罗非鱼排泄物,每日记录水温、罗非鱼摄食及死亡情况。养殖试验持续10周,养殖期间连续通气,保持常流水,溶解氧不低于5.0 mg/L,养殖水温为(21±0.5)℃,pH值约为7.0。

### 1.4 生长性能的测定

养殖试验结束后,先将试验鱼饥饿24 h,对每个桶的试验鱼进行称量,计算增量(weight gain rate, WGR)、特定生长率(special growth rate, SGR)、蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER)及饲料系数(feed conversion ratio, FCR);统计各组的死亡情况,计算成活率(survival rate, SR);每桶取5尾鱼的肝脏和内脏称量,计算肝体比(hepatic-somatic index, HSI)和脏体比(viscerasomatic in-

dex, VSI),计算公式如下:

$$\text{增量(WGR)/\%} = [(m_t - m_0) / m_0] \times 100;$$

$$\text{特定生长率(SGR)/\%} = [(\ln m_t - \ln m_0) / t] \times 100;$$

$$\text{蛋白质效率(PER)} = (m_t - m_0) / (m_t \times N_p);$$

$$\text{饲料系数(FCR)} = m_t / (Tm_t - Tm_0);$$

$$\text{成活率(SR)/\%} = (N_t / N_i) \times 100;$$

$$\text{肝体比(HSI)/\%} = (m_H / m) \times 100;$$

$$\text{脏体比(VSI)/\%} = (m_V / m) \times 100.$$

式中, $m_t$ 为试验第 $t$ 天时体质量(g), $m_0$ 为初始体质量(g), $m_t$ 为投喂饲料总量(g), $Tm_t$ 为试验第 $t$ 天时鱼体总质量(g), $Tm_0$ 为试验初始时鱼体总质量(g), $m$ 为鱼体质量(g), $m_H$ 为鱼体肝脏质量(g), $m_V$ 为鱼体内脏质量(g), $N_p$ 为饲料中的蛋白质质量分数(%), $N_t$ 为终末尾数, $N_i$ 为初始尾数。

### 1.5 生化成分的测定

试验结束后,每桶取5尾鱼做全鱼样品,另外取5尾鱼的背肌做肌肉样品,进行生化成分分析。直接干燥法测定水分(GB/T 5009.3-2003);凯氏定氮法测定粗蛋白质(GB/T 5009.5-2003);索氏抽提法

测定粗脂肪(GB/T 5009.6-2003);灼烧称量法测定灰分(GB/T 5009.4-2003)<sup>[7]</sup>。饲料和肌肉的氨基酸含量采用日立 835-50 型氨基酸分析仪测定。

表 2 每 100 g 试验饲料干物质中的氨基酸组成<sup>1)</sup>

Table 2 Amino acid composition of the experimental diets per 100 g diet DM g

项目 Item	对照 CK	PM25	PM50	PM75	PM100
精氨酸 Arg	1.96	1.96	2.00	2.18	2.02
赖氨酸 Lys	1.97	1.78	1.69	1.65	1.4
组氨酸 His	0.72	0.68	0.71	0.80	0.72
异亮氨酸 Ile	1.20	1.12	1.14	1.16	1.06
亮氨酸 Leu	2.22	2.26	2.44	2.60	2.50
必需氨基酸 Indispensable amino acid (IAA)	1.47	1.37	1.34	1.40	1.35
缬氨酸 Val	1.47	1.37	1.34	1.40	1.35
蛋氨酸 Met	0.48	0.53	0.49	0.46	0.40
苯丙氨酸 Phe	1.45	1.44	1.50	1.60	1.52
苏氨酸 Thr	1.10	1.04	1.03	1.06	0.94
酪氨酸 Tyr	1.44	0.94	1.04	1.07	0.90
GIAA <sup>1)</sup>	14.01	13.12	13.38	13.98	12.81
天冬氨酸 Asp	2.58	2.54	2.54	2.61	2.38
丝氨酸 Ser	1.90	1.88	1.90	1.98	1.82
谷氨酸 Glu	5.25	5.32	5.60	6.02	5.74
脯氨酸 Pro	1.57	1.54	1.61	1.70	1.56
甘氨酸 Gly	1.73	1.56	1.45	1.40	1.18
丙氨酸 Ala	1.58	1.58	1.60	1.68	1.54
胱氨酸 Cys	0.30	0.34	0.30	0.34	0.37
GDAA	14.91	14.76	15.00	15.73	14.59
IAA/DAA	0.94	0.89	0.89	0.89	0.88
GAA	28.92	27.88	28.38	29.71	27.40

1) GIAA:总必需氨基酸 Gross IAA; GDAA:总非必需氨基酸 Gross DAA; GAA:总氨基酸 Gross amino acid.

## 1.6 表观消化率的测定

表观消化率的测定采用 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 指示剂法。采用酸消化法,原子吸收分光光度计(AA320CRT)测定试样中铬含量<sup>[8]</sup>。试验开始 2 周后,每天在投饲 1 h 后清除残饵,3 h 后开始采用虹吸法收集成型的粪

便条于样品袋中,-20 ℃ 冷藏。于冷冻干燥仪中干燥后备用,待测各处理组对饲料蛋白质、脂肪及氨基酸的表观消化率。

饲料中营养成分的表观消化率/% =

$$\left(1 - \frac{C_1}{C_2} \times \frac{N_2}{N_1}\right) \times 100;$$

式中 C<sub>1</sub> 为饲料中 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量(%);C<sub>2</sub> 为粪便中 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量(%);N<sub>1</sub> 为饲料中营养物质的含量(%);N<sub>2</sub> 为鱼粪便中营养物质的含量(%)。

## 1.7 统计分析

试验数据用平均值±标准差表示,采用 STATISTICA 6.0 统计软件中 One-way ANOVA 进行方差分析,并采用 Duncan's 多重比较法分析试验结果的差异显著性,P < 0.05 即认为有显著差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 混合植物蛋白源替代鱼粉对罗非鱼幼鱼生长和饲料利用的影响

由表 3 可知,25%、50%、75% 替代组的质量增量、特定增长率、蛋白质效率和饲料系数与对照组无显著差异,100% 替代组的质量增量、特定增长率和蛋白质效率显著低于其他处理组,饲料系数显著高于其他处理组。

各处理组的肝体比为 1.79~2.39,脏体比为 9.36~10.18,处理组间无显著差异。各处理组间罗非鱼的成活率无显著差异。

### 2.2 混合植物蛋白源替代鱼粉对罗非鱼幼鱼体组成的影响

由表 4 可看出,全鱼粗蛋白质量分数(55.49%~51.33%)随替代比例的增加有降低的趋势,100% 替代组全鱼粗蛋白质量分数显著低于 25%、50%、75% 替代组和对照组;全鱼脂肪质量分数(31.94%~39.00%)变化趋势与粗蛋白质量分数相反,即随替代比例的增加而升高,75%、100% 替代组全鱼粗脂肪质量分数显著高于 25%、50% 替代组和对照组,且两者之间存在显著性差异;全鱼灰分质量分数(8.54%~12.22%)随着替代比例的增加而降低,75%、100% 替代组全鱼灰分质量分数显著低于 25%、50% 替代组和对照组,但两者之间无显著性差异。

各处理组间肌肉的粗蛋白、粗脂肪、灰分质量分数无显著差异。

表 3 饲料混合植物蛋白源替代鱼粉对罗非鱼幼鱼生长及饲料利用的影响<sup>1)</sup>

Table 3 Effects of replacing fish meal with PM on growth, feed utilization in Nile tilapia fingerlings

项目 Item	对照 CK	PM25	PM50	PM75	PM100
初质量 IW/g	7.93±0.69	7.57±0.52	7.08±0.61	6.61±0.86	6.61±0.80
末质量 FW/g	45.16±1.75	37.52±1.99	37.51±3.05	31.65±1.13	26.67±3.86
增量 WGR/%	472.84±68.33 b	396.43±25.21 b	434.12±84.05 b	383.24±56.55 b	312.13±73.10 a
特定生长率 SGR/(%/d)	2.48±0.17 b	2.29±0.07 b	2.38±0.23 b	2.24±0.17 b	1.99±0.37 a
蛋白质效率 PER	2.39±0.20 b	2.13±0.16 b	2.16±0.34 b	2.02±0.05 b	1.44±0.02 a
饲料系数 FCR	1.41±0.16 b	1.60±0.15 b	1.62±0.26 b	1.73±0.02 b	2.45±0.05 a
肝体比 HSI/%	1.79±0.52	2.39±0.36	2.09±0.08	2.14±0.31	2.36±0.39
脏体比 VSI/%	9.36±0.59	10.18±0.25	9.59±1.12	9.65±0.51	9.64±0.83
成活率 SR/%	98.81±2.06	100.00±0.00	98.77±2.14	97.43±2.23	91.56±9.16

1) 同行数据中标注不同字母表示差异显著, 下表同。Values within the same row with different letters are significantly different, and the same as follows.

表 4 饲料混合植物蛋白源替代鱼粉对罗非鱼幼鱼体组成的影响

Table 4 Effects of replacing fish meal with PM on body composition in Nile tilapia fingerlings

体组成 Body composition/%		对照 CK	PM25	PM50	PM75	PM100
全鱼 Whole body	粗蛋白质 Crude protein	55.49±1.31 b	54.04±1.76 b	54.26±2.51 b	53.01±1.02 b	51.33±0.48 a
	粗脂肪 Crude lipid	31.94±1.68 c	32.41±1.72 c	32.83±1.87 c	35.42±0.86 b	39.00±0.91 a
	灰分 Ash	11.93±1.67 b	12.22±0.35 b	11.66±0.53 b	9.70±0.45 a	8.54±0.41 a
肌肉 Muscle	粗蛋白质 Crude protein	86.91±2.13	89.20±1.68	89.26±1.78	86.22±3.55	88.27±0.58
	粗脂肪 Crude lipid	3.10±2.39	3.67±0.74	4.61±2.15	5.81±2.17	5.24±0.05
	灰分 Ash	6.12±0.47	5.96±0.18	6.49±0.92	6.25±0.35	5.64±0.06

表 5 混合植物蛋白替代鱼粉对每 100 g 罗非鱼幼鱼肌肉干物质中氨基酸组成的影响<sup>1)</sup>

Table 5 Effects of replacing fish meal with PM on muscle amino acid composition in Nile tilapia fingerlings per 100 g diet DM

项目 Item	对照 CK	PM25	PM50	PM75	PM100	
必需氨基酸/g Indispensable amino acid (IAA)	精氨酸 Arg	4.52±0.06	4.53±0.13	4.45±0.15	4.49±0.10	4.47±0.09
	赖氨酸 Lys	7.12±0.11	7.22±0.19	7.03±0.36	7.08±0.17	7.10±0.15
	组氨酸 His	2.11±0.05 b	2.16±0.04 ab	2.15±0.11 ab	2.20±0.03 ab	2.26±0.05 a
	异亮氨酸 Ile	3.26±0.07	3.34±0.10	3.29±0.21	3.41±0.18	3.48±0.09
	亮氨酸 Leu	6.06±0.08	6.14±0.19	6.06±0.35	6.18±0.16	6.19±0.13
	缬氨酸 Val	3.73±0.08	3.82±0.11	3.65±0.13	3.68±0.13	3.86±0.10
	蛋氨酸 Met	2.12±0.03	2.16±0.05	2.13±0.11	2.13±0.04	2.11±0.06
	苯丙氨酸 Phe	3.35±0.08	3.40±0.09	3.30±0.15	3.32±0.09	3.38±0.11
	苏氨酸 Thr	3.09±0.04	3.12±0.07	3.04±0.14	3.05±0.06	3.07±0.07
	酪氨酸 Tyr	2.41±0.05	2.41±0.09	2.45±0.14	2.36±0.07	2.08±0.39
GIAA <sup>2)</sup>	37.77±0.62	38.3±1.02	37.55±1.79	37.90±0.95	38.00±0.77	
非必需氨基酸/g Dispensable amino acid (DAA)	天冬氨酸 Asp	7.13±0.10	7.25±0.20	7.05±0.35	7.13±0.15	7.25±0.16
	丝氨酸 Ser	4.00±0.07	4.03±0.09	3.91±0.16	3.91±0.07	3.91±0.08
	谷氨酸 Glu	11.90±0.11	12.06±0.32	11.76±0.54	11.89±0.29	11.91±0.26
	脯氨酸 Pro	2.61±0.04	2.60±0.06	2.60±0.09	2.64±0.03	2.64±0.08
	甘氨酸 Gly	4.43±0.13 c	4.41±0.08 bc	4.34±0.05 bc	4.27±0.07 b	4.00±0.05 a
	丙氨酸 Ala	4.95±0.08	4.98±0.09	4.91±0.21	4.92±0.07	4.93±0.11
	胱氨酸 Cys	0.33±0.06	0.31±0.04	0.29±0.02	0.39±0.07	0.36±0.12
	GDAA	35.37±0.50	35.65±0.83	34.87±1.36	35.15±0.57	35.01±0.76
	IAA/DAA	1.07±0.01	1.07±0.01	1.08±0.02	1.08±0.01	1.09±0.01
	GAA	73.13±1.08	73.97±1.85	72.40±3.11	73.03±1.50	73.00±1.51
TAA <sup>2)</sup> /AA/%	38.86±0.12 b	38.81±0.12 ab	38.76±0.22 ab	38.63±0.13 ab	38.49±0.26 a	

1) GIAA, GDAA, GAA 同表 2 注解 GIAA, GDAA 和 GAA were the same as Table 2; 2) TAA: 总呈味氨基酸; 呈味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸 Gross taste amino acid; the contents of taste amino acid were Asp, Glu, Gly and Ala.

### 2.3 混合植物蛋白源替代鱼粉对罗非鱼幼鱼肌肉氨基酸组成的影响

由表 5 可看出, 鱼体肌肉氨基酸总量比较稳定, 均在 73% 左右。混合植物蛋白替代鱼粉对鱼体肌

肉必需氨基酸总量无显著影响; 在单一必需氨基酸中, 混合植物蛋白替代鱼粉仅对组氨酸有显著影响, 而对其他单一必需氨基酸无显著影响, 鱼体肌肉中组氨酸含量随着替代比例的增加而升高, 100% 替代



组鱼体肌肉组氨酸含量显著高于对照组,与其他处理组无显著性差异。

呈味氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸)占总氨基酸比例(38.86%~38.49%)随着混合植物蛋白替代比例的增加而降低,100%替代组的呈味氨基酸占总氨基酸比例显著低于对照组,与其他处理组差异不显著。

## 2.4 混合植物蛋白源替代鱼粉对罗非鱼幼鱼饲料蛋白质、脂肪及氨基酸表观消化率的影响

由表 6 可看出,各处理组的蛋白质消化率为 86.00%~79.10%,100%替代组的蛋白质消化率显著低于 25%、50%、75%替代组和对对照组,而 25%、50%、75%替代组与对照组差异不显著;各处理组的脂肪消化率为 94.37%~92.49%,处理组间无显著

差异。

混合植物蛋白替代鱼粉对必需氨基酸消化率有显著影响,各处理组除精氨酸和酪氨酸消化率无显著差异外,100%替代组的必需氨基酸消化率显著低于其他处理组,75%替代组的赖氨酸消化率显著低于 25%替代组和对对照组,缬氨酸消化率显著低于对照组,50%替代组的赖氨酸、苏氨酸消化率显著低于 25%替代组和对对照组。从数值上看,罗非鱼对必需氨基酸消化率以蛋氨酸消化率最低、酪氨酸消化率最高。

随着混合植物蛋白替代鱼粉比例增加,非必需氨基酸消化率逐渐降低,以 100%替代组的非必需氨基酸消化率最低,并显著低于对照组。

各处理组的总氨基酸消化率与蛋白质消化率的变化趋势一致。

表 6 混合植物蛋白源替代鱼粉对罗非鱼幼鱼饲料蛋白质、脂肪及氨基酸表观消化率的影响

Table 6 Apparent digestibility for Nile tilapia fingerlings fed diets with fish meal replaced by PM							%
项目 Item	对照 CK	PM25	PM50	PM75	PM100		
粗蛋白质 Crude protein	85.02±0.34 b	86.00±0.84 b	85.72±0.64 b	84.04±2.70 b	79.10±2.07 a		
粗脂肪 Crude lipid	94.37±1.30	93.70±5.78	92.67±4.86	92.64±0.78	92.49±0.24		
必需氨基酸 Indispensable amino acid (IAA)	精氨酸 Arg	91.77±0.29	91.88±0.29	88.89±7.19	91.43±0.81	87.01±1.64	
	赖氨酸 Lys	89.48±0.50 b	88.96±0.42 b	85.25±3.13 c	85.96±0.74 c	79.55±1.35 a	
	组氨酸 His	87.66±0.00 b	87.34±0.41 b	86.51±1.48 b	86.47±1.70 b	81.44±1.15 a	
	异亮氨酸 Ile	86.43±0.41 b	86.66±0.50 b	84.58±2.19 b	84.24±1.05 b	79.29±1.95 a	
	亮氨酸 Leu	85.47±0.51 b	86.92±0.62 b	85.75±1.92 b	85.94±0.94 b	81.48±2.31 a	
	缬氨酸 Val	85.90±0.67 b	85.42±1.55 b	84.11±0.96 bc	83.02±1.15 c	75.43±0.81 a	
	蛋氨酸 Met	77.38±1.03 b	77.17±2.83 b	77.16±0.33 b	77.34±1.19 b	71.58±0.37 a	
	苯丙氨酸 Phe	85.48±0.39 b	87.03±0.52 b	85.35±1.85 b	85.91±0.76 b	81.47±1.90 a	
	苏氨酸 Thr	83.55±0.52 b	83.89±0.75 b	80.24±2.06 c	82.80±2.09 bc	76.14±1.76 a	
酪氨酸 Tyr	94.97±2.01	93.95±4.22	95.39±2.00	96.58±0.00	96.02±0.80		
非必需氨基酸 Dispensable amino acid (DAA)	天冬氨酸 Asp	86.29±0.40 ab	87.72±0.51 a	82.31±1.78 c	84.00±2.81 bc	81.95±1.59 c	
	丝氨酸 Ser	85.80±0.30 b	86.52±0.90 b	84.86±1.67 b	85.12±0.47 b	80.20±1.59 a	
	谷氨酸 Glu	89.36±3.12 b	89.33±0.65 b	86.40±2.24 ab	87.69±1.12 ab	85.54±1.42 a	
	脯氨酸 Pro	87.32±0.79 b	85.58±1.96 b	81.81±1.53 a	80.77±1.14 a	79.37±2.07 a	
	甘氨酸 Gly	85.73±0.49 b	85.98±0.76 b	83.34±1.88 c	82.23±0.99 c	76.32±0.53 a	
	丙氨酸 Ala	85.63±0.62 b	84.31±0.78 bc	82.81±1.92 c	81.78±1.33 ac	79.30±1.88 a	
	胱氨酸 Cys	82.45±5.03 b	83.91±8.14 b	83.35±9.86 b	88.05±6.79 b	67.11±1.93 a	
GAA	87.75±0.36 b	88.19±0.65 b	86.65±1.61 b	86.67±1.48 b	81.74±1.61 a		

## 3 讨论

植物蛋白来源广泛、价格低廉且营养价值较高,是替代鱼粉的理想蛋白源之一。已有的研究表明植物蛋白源替代适量鱼粉,对水产动物的生长、饲料利用无显著影响<sup>[1-3]</sup>。尼罗罗非鱼饲料中单一植物蛋白源如玉米蛋白粉替代 25%鱼粉对罗非鱼生长性能无显著影响,替代 50%鱼粉鱼体生长性能显著降低<sup>[9]</sup>。林仕梅等<sup>[10]</sup>报道棉粕、菜粕总量在 46%以下不会影响奥尼罗非鱼的生长。本试验使用混合植物蛋白源(棉粕、菜粕、玉米蛋白粉和蚕豆)替代鱼粉,结果显示:混合植物蛋白源替代 25%~75%鱼粉,

对罗非鱼生长性能未产生显著影响,相对于单一植物蛋白源,混合植物蛋白源替代效果得到显著提高。但当混合植物蛋白源替代 100%鱼粉,罗非鱼质量增量、特定生长率、蛋白质效率显著降低,饲料系数显著升高,鱼体的生长性能受到显著影响。对大西洋鳕<sup>[11]</sup>的研究也有相似结果,混合植物蛋白源(豆粕、大豆蛋白和小麦粉)替代 50%鱼粉对大西洋鳕的特定生长率和饲料系数无显著影响,但替代 75%~100%鱼粉,大西洋鳕的特定生长率显著降低,饲料系数显著升高。这可能与植物性蛋白源中缺乏一些必需氨基酸以及植物蛋白比例过高导致饲料适口性下降有关。大多数植物蛋白源的限制性氨

基酸是蛋氨酸和赖氨酸<sup>[2]</sup>,本试验中,随着饲料植物蛋白替代鱼粉比例增加,蛋氨酸和赖氨酸含量降低(表2),IAA/DAA值降低,Vilhelmsson等<sup>[12]</sup>报道饲料IAA/DAA值降低会导致蛋白质代谢增加,蛋白质效率降低。因此为了提高蛋白质的利用率,植物蛋白源的使用量应控制在合理范围内,在本试验条件下,植物蛋白源对鱼粉的最大替代量为75%。

混合植物蛋白源替代不同水平鱼粉对罗非鱼的鱼体生化组成产生了不同程度的影响,混合植物蛋白源替代25%、50%的鱼粉对罗非鱼的鱼体生化组成未产生显著影响;替代75%、100%的鱼粉,鱼体脂肪含量显著增加,蛋白质含量显著降低。这可能与植物蛋白比例增加导致氨基酸含量不均衡有关<sup>[13]</sup>,尤其是蛋氨酸的限制,导致蛋白质效率降低,饲料蛋白没有充分地转化成机体蛋白,而是更多地转化为脂肪。混合植物蛋白源(玉米蛋白粉,小麦粉)替代鱼粉使欧洲鲈脂肪含量升高<sup>[13]</sup>,这与本试验的研究结果相似;但植物蛋白替代鱼粉对鱼体脂肪含量的影响也存在差异,大菱鲆饲料混合植物蛋白源(玉米蛋白粉、小麦粉、羽扇豆粉)替代50%鱼粉,鱼体脂肪水平增加,替代比例再升高,鱼体脂肪水平降低<sup>[4]</sup>;混合植物蛋白源(豆粕、大豆蛋白和小麦粉)替代鱼粉对大西洋鳕的鱼体生化组成没有影响<sup>[11]</sup>。这可能与鱼体的脂肪代谢方式及饲料蛋白源不同有关<sup>[12]</sup>。鱼体的呈味氨基酸是决定鱼肉风味的因素之一。本试验中各处理组罗非鱼肌肉呈味氨基酸总量、氨基酸总量没有差异,混合植物蛋白源替代25%~75%的鱼粉,呈味氨基酸占总氨基酸比例与对照组无差异,证实适量植物蛋白对罗非鱼的肌肉风味无显著影响。

消化率是评价饲料质量的一重要指标,本试验中罗非鱼对饲料蛋白质和脂肪的消化率结果高于El-Saidy等<sup>[14]</sup>使用混合植物蛋白源(豆粕、棉粕、向日葵粕和亚麻仁粕)替代鱼粉的结果(85.4%~80.3%,70.3%~56.1%),证实本试验所选饲料原料具有较好的可消化性。本试验又进一步研究了罗非鱼对氨基酸的消化率,通过氨基酸消化率能更全面地分析鱼体对饲料的利用程度<sup>[4]</sup>,本试验中大部分单一氨基酸的消化率变化趋势与总氨基酸消化率一致,必需氨基酸以蛋氨酸的消化率最低。蛋氨酸作为限制性氨基酸,消化率低可能是导致鱼体生长缓慢的主要因素。混合植物蛋白源替代鱼粉超过75%,蛋白质及总氨基酸消化率显著降低,这可能是

因为植物蛋白源所含有的抗营养因子与鱼体肠道消化酶结合,降低肠道消化酶的活力<sup>[15]</sup>,从而降低罗非鱼对饲料的消化率,有关植物蛋白源对罗非鱼肠道消化酶的影响机制有待进一步的研究。

## 参 考 文 献

- [1] EL-SAIDY D M S, GABER M M A. Total replacement of fish meal by soybean meal, with various percentages of supplemental L-methionine, in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fry[J]. Ann Agric Sci, 1997, 35: 1223-1238.
- [2] JACKSON A J, CAPPER B S, MATTY A J. Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *Sarotherodon mossambicus* [J]. Aquaculture, 1982, 27: 97-109.
- [3] DAVIES S J, McCONNELL S, BATESON R I. Potential of rapeseed meal as an alternative protein source in complete diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters) [J]. Aquaculture, 1990, 87: 145-154.
- [4] FOURNIER V, HUELVAN C, DESBRUYERES E. Incorporation of a mixture of plant feedstuffs as substitute for fish meal in diets of juvenile turbot (*Psetta maxima*) [J]. Aquaculture, 2004, 236: 451-465.
- [5] BORGESON T L, RACZ V J, WILKIE L J, et al. Effect of replacing fishmeal and oil with simple or complex mixtures of vegetable ingredients in diets fed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquacult Nutr, 2006, 12: 141-149.
- [6] HSIEH S L, HU C Y, HSU Y T, et al. Influence of dietary lipids on the fatty acid composition and stearyl-CoA desaturase expression in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) under cold shock [J]. Comp Biochem Physiol, 2007, 147: 438-444.
- [7] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准食品卫生检验方法理化部分(一) [M]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 27-46.
- [8] KOPRUCU K, OZDEMIR Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture, 2005, 250: 308-316.
- [9] EL-EBLARY E H. Use of soybean meal and/or corn gluten meal as partial substitutes for fish meal in Nile tilapia fingerling diets [J]. Egypt J Aquatic Res, 2005, 31(2): 432-442.
- [10] 林仕梅, 麦康森, 谭北平. 菜粕、棉粕替代豆粕对奥尼罗非鱼生长、体组成和免疫力的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(2): 168-173.
- [11] HANSEN A, ROSEN LUND G, KARLSEN Q, et al. Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) I: effects on growth and protein retention [J]. Aquaculture, 2007, 272: 599-611.
- [12] VILHELMSSON O T, MARTIN S A M, MEDALE F, et al. Dietary plant-protein substitution affects hepatic metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. British J Nutr,

2004,92;71-80.

- [13] KAUSHIK S J, COVES D, DUTTO G, et al. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax* [J]. *Aquaculture*, 2004, 230: 391-404.

- [14] EL-SAIDY D M S, GABER M M A. Replacement of fish meal

with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets [J]. *Aquac Res*, 2003, 34: 1119-1127.

- [15] 孙盛名, 叶金云, 陈建明, 等. 配合饲料中豆粕、菜粕替代鱼粉对青鱼消化酶活力和表观消化率的影响 [J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2008, 27(4): 395-400.

## Effect of Plant Protein Sources on Growth Performance, Body Composition and Apparent Digestibility in Juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

ZHONG Wei-wei<sup>1</sup> WEN Hua<sup>2,3</sup> JIANG Ming<sup>2,3</sup>

WU Fan<sup>2,3</sup> YUAN Dan-ning<sup>1</sup> LIU Tai-liang<sup>1</sup> LIU Wei<sup>2,3</sup>

1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China;

3. Freshwater Fishery Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China

**Abstract** A study with increasing levels of a plant protein mixture (PM) replacing fish meal (FM) in diets for juvenile Nile tilapia, was conducted to elucidate effects on its growth performance, body composition and digestibility. The PM was consisted of 25% cottonseed meal, 25% rapeseed meal, 25% corn gluten meal and 25% broad bean. Five isonitrogenous (crude protein 30%) and isoenergetic (20 kJ/g) diets replacing 0% (control), 25% (PM25), 50% (PM50), 75% (PM75) and 100% (PM100) of the FM with PM were formulated. Each experimental diet was fed to triplicate groups with 30 Nile tilapia juveniles (initial body weight  $7.16 \pm 0.81$  g) in 400 L aquaria for 10 weeks. The water temperature was  $21 \pm 0.5$  °C, and dissolved oxygen was approximately 5.0 mg/L during the experimental period. The results showed that weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR) and protein efficiency ratio (PER) of fish fed with diets PM25, PM50, PM75 were not significantly different from those of fish fed with control diet, while fish fed with PM100 had significant difference with those of fish fed with the other diets. No significant differences in HSI and VSI were observed among dietary treatments. The whole body proximate analysis showed that protein and ash contents significantly decreased with increasing dietary PM levels, while the whole body lipid content increased. Except histidine content was increased with increasing dietary PM levels, there were no significant effects on muscle indispensable amino acid (IAA) and total amino acid contents. Taste amino acid to total amino acid ratio decreased with increasing dietary PM levels, and no effect on total amino acid content was observed. PM substitution up to 75% of the FM protein did not result in differences in the apparent digestibility of protein and total amino acid compared with the control, whereas in the PM100 group digestibility was significantly lower than the other groups; no significant effects were found on lipid digestibility. These results suggest that 75% FM replacement by PM caused no significant effect on the growth, body composition and digestibility of Nile tilapia.

**Key words** Nile tilapia; plant protein mixture; fish meal; growth; apparent digestibility