



读书报告——

闫潇

2016.5.7

Aquaculture Nutrition



Aquaculture Nutrition 2015

doi: 10.1111/anu.12313

Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet

M^aJ. SÁNCHEZ-MUROS^{1,2}, C. DE HARO¹, A. SANZ³, C.E. TRENZADO³, S. VILLARECES¹ & F.G. BARROSO¹

¹ Department of Biology and Geology, University of Almería, Almería, Spain; ² Faculty of Agricultural Sciences, Technical University of Machala, Machala, Ecuador; ³ Department of Zoology, University of Granada, Granada, Spain

黄粉虫粉替代鱼粉的罗非鱼日粮的营养评价



FM/SM

鱼粉/豆粕

TM/FM/SM

黄粉虫粉/鱼粉/豆粕

TM/FM

黄粉虫粉/鱼粉

部分替代鱼粉

全部替代豆粕



摘要：

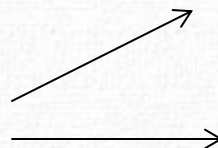
鱼粉 (FM) 和豆粕 (SM) 是鱼饲料中最常见的蛋白质来源，但是它们与环境、经济或生产问题相关。黄粉虫可能成为一种有趣的蛋白替代来源。本工作研究罗非鱼中黄粉虫粉全部替代豆粉 (TM/FM) 或部分替代鱼粉(TM/FM/SM)，将鱼粉和豆粉(TM/SM)作为对照组。我们研究了TM的壳聚糖含量，体外蛋白质消化率，蛋白酶活力，氧化应激和抗氧化能力，生长性能和营养利用情况。结果显示：饲料中500g kg⁻¹的TM不影响摄食率，体外蛋白质消化率，肌肉氨基酸组成等生物特征指标。然而，这种添加降低了生长性能，影响了肌肉脂肪酸的分布。在SM/FM组我们观察到最低的蛋白酶活性值，升高的消化道FRAP和肌肉ROS水平，更高的SOD活性。TM的使用需要更好地了解甲壳素在消化中的作用以及毒素可能对鱼类生长造成的影响。



豆粕

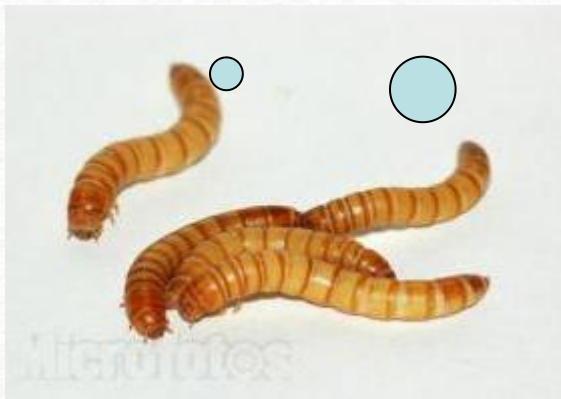


鱼粉

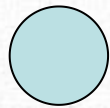


营养价值

生产条件：数量（变化）、环境（自然资源过度开发）、经济（原料价格波动）



黄粉虫



1. 大规模饲养，保证了数量的持续生产，高质量，稳定的供应和价格。

2. 昆虫使用“废物营养物”作为生长源，不需要大量的土地和水，具有环境可持续性。

中国蝗虫



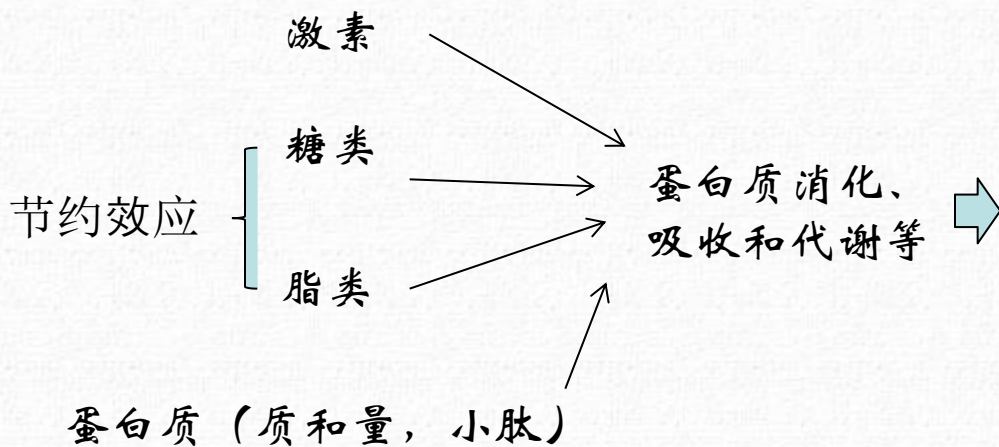
富含蛋氨酸、赖氨酸和半胱氨酸以及多不饱和脂肪酸尤其是亚油酸和亚麻酸。

蟋蟀



墨西哥蝗虫

营养学实验



生长参数

特定增长率、增重率、肥满度、脏体比、饲料系数等

血脂

甘油三酯、胆固醇、低密度脂蛋白等

免疫

丙二醛、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶, 谷胱甘肽还原酶等

代谢强度

消化酶、代谢酶、转氨酶等

产品品质

肌肉氨基酸和脂肪酸组成等

组织结构

肠道完整性和长绒毛数量、高度等



营养特性

生长参数

营养利用率

躯体指数

日生长效率
摄食率

饲料转化率
蛋白质效率

肥满度

体外消化率

蛋白酶活力
体外蛋白质消化率

氧化应激
和抗氧化
能力

ROS和FRAP
超氧化物歧化酶
过氧化氢酶
谷胱甘肽还原酶
谷胱甘肽过氧化物酶
谷胱甘肽转移酶
DT-黄递酶

产品品质

肌肉和肝脏氨基酸
和脂肪酸组成等

蛋白源成分分析



Table 1 Proximate composition of protein feedstuffs evaluated in this study, g kg⁻¹

	Feedstuff		
	FM	SM	TM
Dry matter	900.0	879.0	349.6
Ash	177.3	78.4	48.3
Ether extract	81.6	30.4	300.9
Crude protein (Nx6.25)	730.3	504.1	584.2
NFE ¹	10.8	387.2	66.6
ADF ²	1.1	76.5	65.7
ADIN ³	n.d.	8.2	23.6
CPC ⁴	n.d.	495.8	560.6

粗脂肪
粗蛋白

酸性洗涤纤维

ADF包括木质素、矿物质和昆虫外骨骼的甲壳素。结果显示SM值最高（由于木质素），其次是TM（由于甲壳素），在FM中，值最小主要是矿物质。



昆虫中含有大量的甲壳素，甲壳素的含量是通过测定酸性洗涤纤维来表示的，当然其中也包括一些来自于植物中的木质素。ADF中的 β 1-4键是不能被一些鱼类所消化的。当然一些鱼类可以产生几丁质酶或是通过肠道微生物来消化它。例如在红罗非和尼罗罗非中用虾粉来替代鱼粉（50%-100%），增重和摄食率没有明显的降低(El-Sayed 1998; Mansour 1998)。在尼罗罗非鱼的血清、胃和肠道中都检测到几丁质酶的活性，其中血清含量最高(Molinari et al. 2007)。本实验中，制定饲料配方的时候并没有考虑壳聚糖及其氮含量，但是测定壳聚糖含量可以帮助理解其对生长情况和营养利用的影响。

试验日粮的成分组成和干物质的能量分析

Table 2 Ingredients, proximate composition and gross energy on dry matter basis (DM) of the experimental diets

	Diets		
	FM/SM	TM/FM/SM	TM/FM
Ingredients (g kg ⁻¹ DM)			
Fishmeal (FM) ¹	310	150	300
Tenebrio larvae meal (TM) ²	0	210	430
Soy meal (SM) ³	500	500	0
Fish oil ¹	85	40	0
Cellulose ⁴	20	20	20
Wheat ¹	65	60	230
Premix ⁵	20	20	20
Analysed composition (g kg ⁻¹ DM)			

实验日粮的设计是为了观察到TM替代FM和SM。最大的替代水平被氨基酸含量所限制，以保持饲料中的氨基酸平衡。在两个实验组饲料中，50%的鱼粉蛋白分别被豆粕（FM/SM）和黄粉虫粉（TM/FM）替代，TM/FM/SM组中，75%的鱼粉蛋白被50%的SM和25%TM的替代。

蛋白源和日粮的氨基酸组成

Table 3 Amino acid composition (g kg⁻¹) of FM, SM, TM and of the three different diets formulated

Amino acids	Protein source			Experimental diet		
	FM	SM	TM	FM/SM	TM/FM/SM	TM/FM
Arginine ¹	22.99	16.95	18.04	15.60	15.71	14.66
Histidine ¹	13.89	8.18	11.97	8.39	8.68	9.31
Isoleucine ¹	13.77	9.79	16.12	9.16	10.34	11.06
Leucine ¹	29.45	22.05	31.39	20.15	22.03	22.33
Lysine ¹	31.21	19.68	22.87	19.52	19.32	19.20
Methionine ¹	13.88	2.70	5.12	5.65	4.50	6.36
Phenylalanine ¹	18.01	18.30	14.28	14.73	14.85	11.54
Threonine ¹	15.66	11.27	16.17	10.49	11.38	11.65
Valine ¹	17.10	11.62	24.35	11.11	13.49	15.60
Alanine	29.80	16.48	41.30	17.48	21.38	26.70
Aspartic acid	38.07	37.68	31.66	30.64	31.20	25.03
Glutamic acid	51.86	60.38	44.45	46.27	47.30	34.67
Glycine	27.44	15.50	24.72	16.26	17.06	18.86
Proline	17.88	17.12	29.67	14.10	17.47	18.12
Serine	16.87	17.91	21.39	14.18	15.98	14.26
Tyrosine	13.59	7.32	22.65	7.87	10.45	13.82
EAA/NEAA ²	0.90	0.70	0.74	0.78	0.75	0.80

Results of protein source show the mean on a dry matter basis of three replications. The values of the experimental diets are obtained theoretically with the percentage of inclusion of FM, SM and TM and without to take account the rest of the ingredients.

¹ Essential amino acid

² Balance of essential amino acids (EAA) and not essential amino acids (NEAA).

蛋白源和日粮的粗脂肪组成



Table 4 Fatty acid composition of FM, SM, TM and of the three different diets

Fatty acid	Protein sources			Experimental diets		
	FM	SM	TM	FM/SM	TM/FM/SM	TM/FM
14:0	7.85	n.d.	2.20	5.75	3.55	3.30
16:0	22.95	15.05	16.60	24.40	21.55	21.35
16:1n-7	7.90	n.d.	2.20	6.20	2.90	2.35
18:0	5.30	4.80	3.40	5.55	4.80	4.25
18:1n-7	4.00	0.80	n.d.	2.50	1.15	0.60
18:1n-9	8.40	14.30	43.55	13.95	25.70	33.70
18:2n-6	1.05	48.50	30.35	10.80	23.60	26.00
18:3n-3	0.20	6.85	1.10	1.70	2.05	1.35
18:4n-3	1.90	n.d.	n.d.	1.05	0.50	0.15
20:1n-9	0.30	n.d.	n.d.	1.50	0.85	0.15
20:4n-6	1.40	n.d.	n.d.	1.25	0.60	0.10
EPA 20:5n-3	14.05	n.d.	n.d.	6.60	3.25	2.35
DHA 22:5n-3	2.65	n.d.	n.d.	1.45	0.75	0.25
22:6n-3	16.05	n.d.	n.d.	12.65	6.45	2.60
Others	6.00	5.60	0.60	4.45	2.30	1.50
Monounsaturated	20.60	15.10	45.75	24.35	30.60	36.80
n-3	34.85	6.85	1.10	23.45	13.00	6.70
n-6	2.45	48.50	30.35	12.05	24.20	26.10
Saturated	36.10	23.95	22.20	35.70	29.90	28.90
Total PUFAs	37.30	55.35	31.45	35.50	37.20	32.80
n-3/n-6	14.22	0.14	0.04	1.95	0.54	0.26

The values show the mean in percentage of the total fatty acids analysed. All analyses were performed by triplicate. n.d., Not detected.

不同日粮组体外蛋白质消化率和蛋白酶活力测定

FM/SM	TM/FM/SM	TM/FM
32.6±1.4%	23.8±2.8%	27.2±2.3%

Table 5 Activity units (AU) of protease in Nile tilapias fed with three experimental diets at the end of the experiment

AU mg prot ⁻¹	Diets		
	FM/SM	TM/FM/SM	TM/FM
Stomach	12.46 ± 1.01 ^c	44.28 ± 2.93 ^a	27.64 ± 0.99 ^b
Intestine	17.00 ± 2.58 ^c	54.87 ± 1.19 ^a	47.05 ± 0.71 ^b

Mean ± SEM of three intestine and stomach replicates of fish fed with the different experimental diets. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) based on the Tukey–Kramer HSD test. One unit of protease activity (AU) was defined as 1.0 μg of tyrosine released per minute.

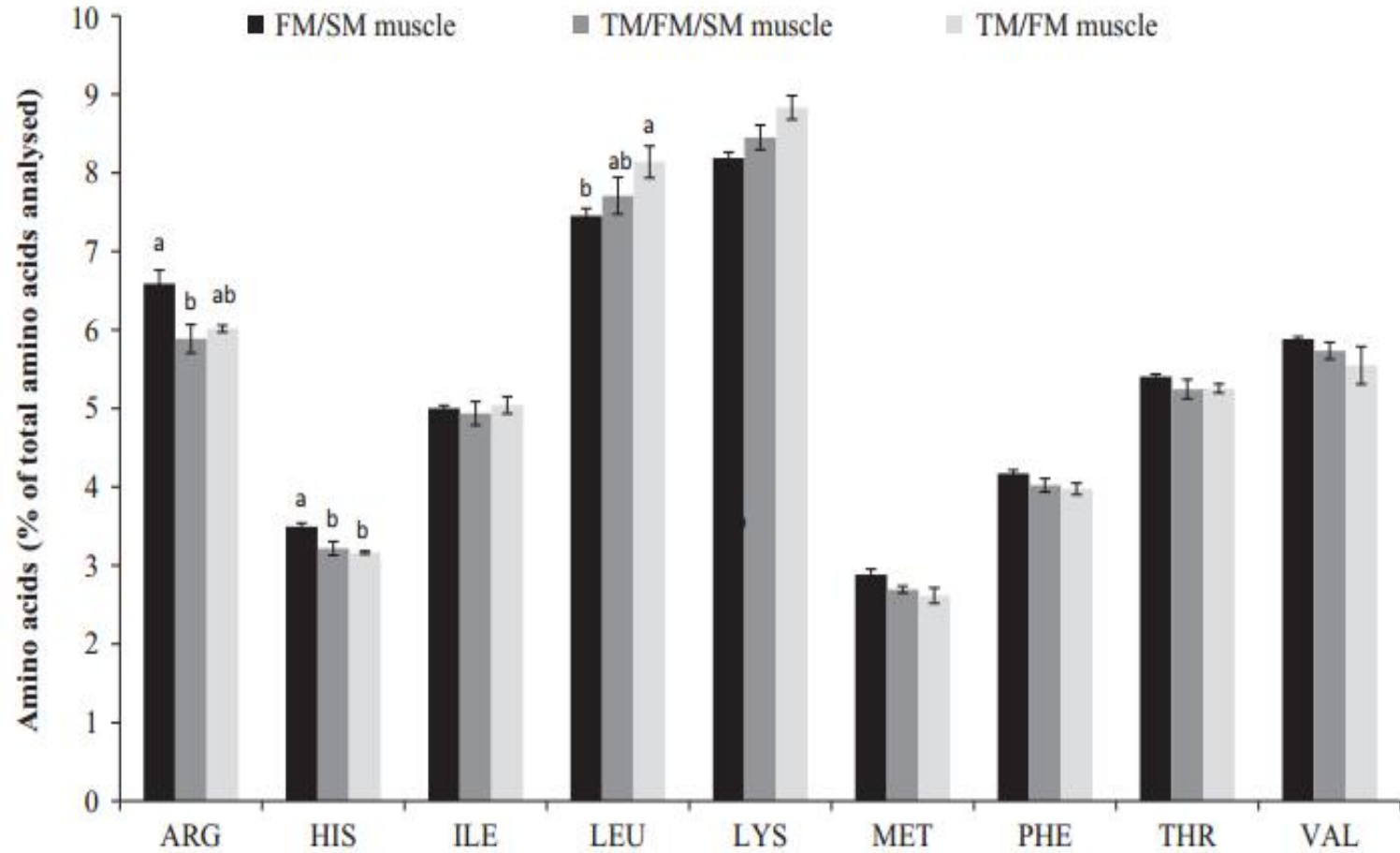
不同日粮组生长指标、躯体指数、体组成

Table 6 Growth performance, somatic indexes and body composition of Nile tilapia fed a control diet (FM/SM) and experimental diets (TM/FM/SM and TM/FM)

	Diet		
	FM/SM	TM/FM/SM	TM/FM
Growth performance			
FBW ¹ (g)	84.73 ± 4.40 ^a	60.24 ± 3.20 ^b ↓	60.2 ± 1.33 ^b ↓
DGC ² (%)	2.74 ± 0.18 ^a	1.84 ± 0.16 ^b ↓	1.83 ± 0.06 ^b ↓
FI ³ (%)	1.98 ± 0.08	2.05 ± 0.03	2.05 ± 0.03
FCE ⁴	1.03 ± 0.03 ^a	0.74 ± 0.06 ^b ↓	0.74 ± 0.02 ^b ↓
PER ⁵	2.08 ± 0.06 ^a	1.55 ± 0.13 ^b ↓	1.46 ± 0.03 ^b ↓
PERc ⁶	2.13 ± 0.07 ^a	1.60 ± 0.13 ^b	1.51 ± 0.03 ^b
Somatic indexes (%)			
Carcass	86.85 ± 0.57	79.4 ± 4.75	86.68 ± 1.97
Liver	1.47 ± 0.20 ^{ab}	1.32 ± 0.16 ^b	1.92 ± 0.15 ^a
Intestine	3.29 ± 0.33	3.71 ± 0.60	2.80 ± 0.28
Stomach	0.82 ± 0.14	0.67 ± 0.13	0.48 ± 0.05
Spleen	0.11 ± 0.03	0.06 ± 0.01	0.10 ± 0.03
Head	23.18 ± 0.93	23.16 ± 1.21	22.91 ± 0.44
Muscle	34.17 ± 2.57	32.14 ± 2.76	33.26 ± 1.27
Gonads	2.26 ± 0.59	2.58 ± 0.74	2.99 ± 0.61
Condition Factor ⁷	1.72 ± 0.05	1.63 ± 0.06	1.58 ± 0.02
Body composition (g kg⁻¹)			
Dry matter ⁸	977.7 ± 4.4	970.6 ± 8.3	971.1 ± 2.7
Ash	64.8 ± 1.1	72.7 ± 4.4	68.2 ± 0.9
Ether extract	42.3 ± 12.2	45.9 ± 12.2	50.3 ± 6.9
Crude protein (Nx6.25)	877.2 ± 10.5	880.5 ± 9.7	873.3 ± 7.2

生长指标
 末体重
 日生长效率
 摄食率
 饲料转化效率
 蛋白质效率
 蛋白质效率矫正
 体征指标
胴体
 肝
 肠道
 胃
 脾脏
 头
 肌肉
 性腺
 肥满度
 体成分
 干物质
 灰分
 脂肪
 粗蛋白

不同日粮组肌肉氨基酸含量测定



不同日粮组肌肉和肝脏脂肪含量测定

Table 7 Fatty acids profile (% total fatty acids analysed) in muscle and liver of Nile tilapia fed a control diet (FM/SM) and experimental diets (TM/FM/SM and TM/FM)

Fatty acid/Diet	Muscle			Liver		
	FM/SM	TM/FM/SM	TM/FM	FM/SM	TM/FM/SM	TM/FM
14:00	3.08 ± 0.61	2.03 ± 0.24	2.43 ± 0.30	3.05 ± 0.05	2.4 ± 0.65	2.43 ± 0.07
16:00	22.5 ± 0.36	18.92 ± 0.77	18.72 ± 1.35	21.80 ± 2.10 ^x	16.5 ± 1.89 ^{xy}	10.70 ± 0.51 ^y
16:1n-7	3.55 ± 0.86	1.72 ± 0.3	1.93 ± 0.47	3.90 ± 0.70	2.87 ± 0.55	2.90 ± 0.23
18:00	8.90 ± 0.8	8.42 ± 1.03	6.85 ± 1.08	11.70 ± 0.20	7.53 ± 1.01	4.67 ± 0.70
18:1n-9	13.03 ± 1.35 ^b	17.9 ± 2.40 ^{ab}	26.65 ± 3.03 ^a	15.45 ± 3.75 ^y	25.27 ± 3.29 ^y	39.03 ± 2.02 ^x
18:1n-7	3.42 ± 0.65	2.60 ± 0.23	1.58 ± 0.30	3.20 ± 0.60 ^x	1.77 ± 0.41 ^{xy}	0.87 ± 0.26 ^y
18:2n-6	6.47 ± 0.56 ^b	15.55 ± 1.98 ^a	19.05 ± 1.46 ^a	6.25 ± 3.55 ^z	12.87 ± 0.23 ^y	18.53 ± 1.07 ^x
18:3n-3	0.53 ± 0.17	0.48 ± 0.34	0.33 ± 0.22	0.25 ± 0.25	0.50 ± 0.06	0.50 ± 0.06
18:3n-6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.30 ± 0.3	0.60 ± 0.15
18:4n-3	0.20 ± 0.2	0.07 ± 0.07	0.08 ± 0.08	n.d.	n.d.	n.d.
20:1n-9	1.25 ± 0.06 ^a	0.58 ± 0.07 ^b	0.57 ± 0.11 ^b	1.45 ± 0.15	0.67 ± 0.35	0.87 ± 0.07
20:4n-3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.67 ± 0.67	n.d.
20:4n-6	2.72 ± 0.43	2.40 ± 0.38	2.32 ± 0.51	3.50 ± 0.40 ^x	1.67 ± 0.63 ^{xy}	1.00 ± 0.15 ^y
EPA 20:5n-3	2.83 ± 0.12 ^a	1.23 ± 0.15 ^b	0.47 ± 0.26 ^b	1.50 ± 0.40 ^x	0.30 ± 0.06 ^y	n.d.
22:1n-11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.17 ± 0.17	n.d.
22:5n-3	4.85 ± 0.32 ^a	3.68 ± 0.19 ^{ab}	2.88 ± 0.46 ^b	1.25 ± 1.15	1.07 ± 0.19	0.40 ± 0.10
22:5n-6	n.d.	n.d.	n.d.	0.45 ± 0.45	0.33 ± 0.18	n.d.
DHA 22:6n-3	22.77 ± 2.15 ^a	18.22 ± 2.38 ^{ab}	11.70 ± 1.81 ^b	21.00 ± 2.20 ^x	10.67 ± 2.65 ^y	3.27 ± 0.28 ^y
Others	3.90 ± 0.08 ^b	6.20 ± 0.56 ^a	4.67 ± 0.63 ^{ab}	5.25 ± 2.45 ^y	14.47 ± 1.91 ^x	14.23 ± 1.55 ^x
Monounsaturated	21.25 ± 1.55	22.8 ± 2.51	30.73 ± 3.38	24.00 ± 5.20 ^y	30.73 ± 3.94 ^{xy}	43.67 ± 2.22 ^x
n-3	31.18 ± 1.71 ^a	23.68 ± 2.30 ^{ab}	15.47 ± 1.94 ^b	24.00 ± 0.90 ^x	13.20 ± 2.86 ^y	4.17 ± 0.23 ^z
n-6	9.18 ± 0.45 ^b	17.95 ± 1.60 ^a	21.37 ± 1.15 ^a	10.20 ± 0.01 ^z	15.17 ± 0.43 ^y	20.13 ± 0.90 ^x
Saturated	34.48 ± 0.12 ^a	29.37 ± 1.48 ^b	28.00 ± 2.12 ^b	36.55 ± 1.85 ^x	26.43 ± 2.34 ^y	17.80 ± 1.05 ^z
Total PUFAs	40.37 ± 1.57	41.63 ± 0.79	36.83 ± 0.87	34.20 ± 0.90	28.37 ± 3.29	24.30 ± 0.86
n-3/n-6	3.42 ± 0.29 ^a	1.37 ± 0.26 ^b	0.74 ± 0.13 ^b	2.35 ± 0.09 ^x	0.86 ± 0.17 ^y	0.21 ± 0.02 ^z

Results show the mean ± SEM (n = 6); different letters indicate significant differences (P < 0.05) based on the Tukey-Kramer HSD test with 'a' or 'b' for muscle and 'x', 'y' or 'z' for liver.

n.d., Not detected.

ROS 和FRAP测定

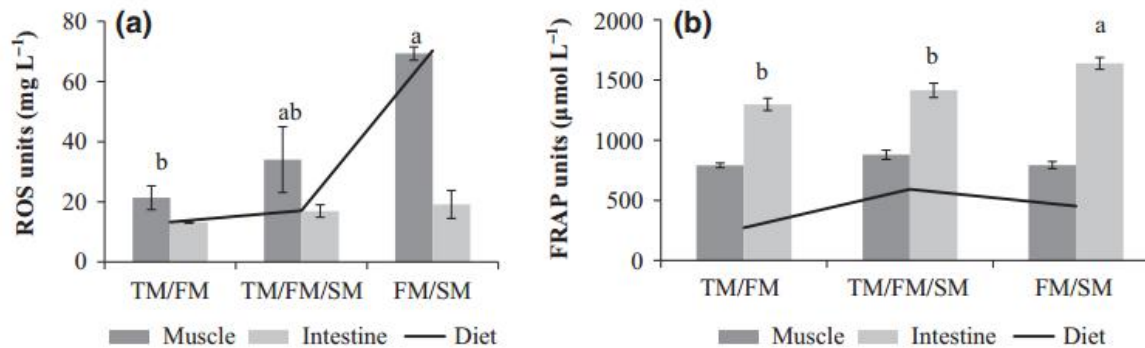


Figure 2 ROS (a) and FRAP (b) levels in the three experimental diets and muscle and intestine of the fish fed with each diet. Results show the mean \pm SEM ($n = 6$); different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) based on the Tukey-Kramer HSD test.

活性氧类（英语：Reactive oxygen species, **ROS**），是生物有氧代谢过程中的一种副产品，包括氧离子、过氧化物和含氧自由基等。ROS的产生和增多，诱发氧化应激，继而导致细胞衰老或凋亡。

机体内存在多种抗氧化物，包括抗氧化大分子、小分子和酶等，以阻止活性氧诱导的氧化应激的产生，一个机体内的抗氧化物的总的水平体现了该体系内的总抗氧化能力。

FRAP在肌肉中没有显著性差异。FM/SM组消化道中的FRAP含量最高，而肌肉中ROS含量更高。

不同日粮对肝脏抗氧化活性的影响



Table 8 Effects of different experimental diets based in TM on liver antioxidant activity in Nile tilapias

Antioxidant enzymes in liver		Diets		
		FM/SM	TM/FM/SM	TM/FM
SOD¹	超氧化物歧化酶	467.56 ± 37.39 ^a	368.31 ± 17.15 ^b ↓	383.47 ± 28.08 ^b ↓
CAT ¹	过氧化氢酶	228.77 ± 20.67	215.82 ± 15.57 ↓	200.10 ± 22.50 ↓
GPX ²	谷胱甘肽还原酶	48.77 ± 3.38	45.79 ± 3.07	48.42 ± 1.64
GR ²	谷胱甘肽过氧化物酶	6.19 ± 0.69	5.98 ± 0.50	4.85 ± 0.59
GST ²	谷胱甘肽转移酶	179.95 ± 29.76	147.44 ± 13.82	205.01 ± 23.57
<u>DTD²</u>	DT-黄递酶	21.36 ± 4.06	11.67 ± 2.88	16.90 ± 4.03

Results show the mean ± SEM ($n = 9$); different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) based on the Tukey–Kramer HSD test for superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione reductase (GR), glutathione peroxidase (GPX), glutathione transferase (GST) and DT-diaphorase (DTD).

¹ U mg⁻¹ protein

² mU mg⁻¹ protein.

FM/SM组消化道中的FRAP含量最高，肝脏中SOD的含量最高。说明饲料中鱼粉的量越高，抗氧化能力就越强。



本研究结果显示TM在组成上可以与SM相媲美，部分替代鱼粉或全部替代豆粕不影响摄食率、体外蛋白质消化率、肌肉氨基酸组成或生物特征指标。但是，TM（25%和50%）替代组生长降低了29%并且影响了肌肉的脂肪酸组成。作为一种蛋白源TM不能被用于高的替代率。TM的使用需要进一步了解壳聚糖在消化方面的作用，研究毒素可能对鱼类生长造成的影响。



思考

鱼粉的替代还是研究的热点，但是替代结果还是差强人意，具有各自的缺点。可以考虑综合替代法，如（替代物+某些能够弥补和改善其缺陷的添加剂）。



一起跟我们微博互动吧！



谢谢大家！



敬请大家批评指正！

