

# 饲料中土豆蛋白替代鱼粉对虹鳟摄食率、消化率和生长的影响\*

解绶启<sup>1)</sup> Alfred Jokumsen<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

<sup>2)</sup> (丹麦渔业技术与养殖研究所, 北海中心, 希茨赫尔斯)

**摘要** 通过生长试验探讨了饲料中土豆蛋白浓缩物替代鱼粉后对虹鳟摄食率、消化率、生长和饲料利用的影响。对照饲料全部以鱼粉为蛋白源, 其它饲料分别含土豆蛋白 2.2%, 5.6%, 8.9% 和 11.1%, 另一饲料含 5.6% 土豆蛋白和 1.7% 蛋氨酸。在 12℃ 下饲养 4 周, 试验结果表明, 随着饲料中土豆蛋白使用比例的增加, 虹鳟的摄食率下降, 饲料的干物质、蛋白和灰分的表观消化率上升, 脂肪的表观消化率无显著影响; 当饲料中含 5.6% 土豆蛋白时, 虹鳟生长率明显下降; 当饲料中土豆蛋白含量为 8.9%, 生长率和饲料效率均下降。饲料中添加蛋氨酸后, 摄食率和生长率下降。

**关键词** 虹鳟, 土豆蛋白, 替代, 鱼粉

土豆 (*Solanum tuberosum*) 蛋白浓缩物 (Potato protein concentrate, PPC) 是生产土豆淀粉的副产物, 有较高的蛋白质含量 (75—80%) 与平衡的必需氨基酸组成, 具有较大的蛋白利用潜力。但目前对该种蛋白的利用仅限于畜牧业。在渔业饲料中的应用仅有少量报道<sup>[1,2]</sup>, 这些结果都认为虹鳟对土豆蛋白的利用较差。在作者的前期试验中<sup>[3]</sup>得出 9.4% 至 51% 的土豆蛋白明显影响虹鳟的生长和饲料利用, 并影响饲料的适口性。Tacon 和 Jackson 认为土豆蛋白中蛋氨酸是第一限制氨基酸。本试验在前期试验基础上, 降低了土豆蛋白的使用量, 并补充蛋氨酸, 以期探讨土豆蛋白在虹鳟饲料中的适宜使用量, 并研究其影响生长和饲料利用的机制。

## 1 材料和方法

试验配制了六种饲料, 饲料 1(对照组) 使用丹麦低温鱼粉为饲料蛋白源, 饲料 2—5 的土豆蛋白含量分别为 2.2%, 5.6%, 8.9%, 11.1%; 饲料 6 含 5.6% 土豆蛋白和 1.7% 的蛋氨酸, 所有的饲料调节为等氮等能。饲料配方和氨基酸组成见表 1 和表 2。饲料制成 2.5mm 直径的颗粒, 75℃ 下干燥, 4℃ 冷藏保存。

\* 本研究得到丹麦国际发展局 (DANIDA) 的资助, 同时感谢丹麦渔业技术与养殖研究所其他人员、在 DANIDA 和国际学生中心 (ISC) 工作人员的帮助

表1 试验饲料的配方和营养组成(%湿重)<sup>1)</sup>

Tab.1 Formulation and nutrient composition of experimental diets (% in wet weight)

饲料 Diets	1	2	3	4	5	6
鱼粉 Fish meal	44.4	42.0	38.5	34.8	32.5	37.9
土豆蛋白 PPC	0	2.2	5.6	8.9	11.1	5.6
血粉 Blood meal	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
蛋氨酸 Methionine	0	0	0	0	0	0
纤维素 Cellulose	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
玉米淀粉 Maize starch	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
麦粉 Wheat	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
鱼油 Fish oil	20.3	20.4	20.5	20.6	21.0	20.9
卵磷脂 Lecithin	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
维生素/无机盐预混物 <sup>2)</sup>	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Vit/Min premix						
粗蛋白 Crude protein	43.1	43.3	43.5	43.7	43.7	44.2
粗脂肪 Crude lipid	26.4	26.3	25.4	24.9	25.3	25.7
灰分 Ash	6.5	6.3	6.2	5.7	5.3	5.9
无氮浸出物 Nitrogen free extract	24.0	24.2	24.9	25.7	25.6	24.2
总能 Gross energy (KJ/g)	24.34	24.38	24.20	24.20	24.33	24.35
干物质 Dry matter	93.9	94.3	94.8	96.0	94.4	94.3

1) 干物质、蛋白、灰分和脂肪分析得到, 无氮浸出物计算得到; 总能计算得到(蛋白为23.62KJ/g, 无氮浸出物17.14KJ/g, 脂肪为38.04KJ/g)。Dry matter, protein, ash and lipid were analysed, Gross energy was calculated assuming coefficients of 23.62KJ/g for protein, 17.14KJ/g for Nitrogen-free-extract and 38.04KJ/g for fat.

2) 维生素 / 无机盐预混物由丹麦 BioMar 公司提供 Vit/Min premix was supplied by BioMar Ltd. Denmark

表2 试验原料和饲料中的必需氨基酸组成(g/kg 干重)

Tab.2 Amino acid composition of the used ingredients and experimental diets (g/kg on dry matter)

成分 Ingredients	Arg	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Val	Cys	Suppliers
土豆蛋白 PPC	43.68	48.84	81.69	63.81	16.95	52.06	46.35	57.67	12.65	Cerestar Ltd
麦粉 Wheat	5.2	4.4	8.1	3.2	2	5.6	3.3	5.3	2.6	WM Special Feeds
血粉 Blood meal	43.7	13.1	138.7	84	9.9	64.1	37.4	75.1	9.1	DAKA
玉米淀粉 Maize starch	0.5	0.4	0.8	0.4	0.2	0.5	0.3	0.5	0.1	Cerestar Ltd.
饲料										EAA1
1	18.18	14.44	25.61	25.30	9.18	13.98	13.85	18.37	3.67	75.19
2	18.20	14.73	26.13	25.38	9.07	14.41	14.13	18.69	3.76	75.65
3	18.21	15.12	26.88	25.45	8.90	15.04	14.52	19.16	3.90	76.31
4	18.21	15.53	27.64	25.52	8.72	15.68	14.92	19.62	4.05	76.96
5	18.20	15.77	28.11	25.54	8.59	16.09	15.16	19.91	4.14	77.39

注: 必需氨基酸指数(EAA1)根据Dabrowska和Wojno<sup>[4]</sup>报道的虹鳟肌肉氨基酸为参照计算 EAA1(Essential Amino Acids Index) was calculated based on amino acid composition of the protein of rainbow trout muscle<sup>[4]</sup>

试验在丹麦渔业技术与养殖研究所流水养殖系统进行。试验用有机玻璃桶( $\phi 0.51 \times 1m$ )为锥形底,其底部有一粪便收集器。试验前一周将约重20g的虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)放入养殖系统进行驯化。驯化期间,每天2次(上午9:00和下午3:00)手工投喂丹麦BioMar公司提供的商品饲料使鱼达到饱食。

试验开始时,试验鱼饥饿1d后逐个称重,每个箱中随机放入20尾鱼。试验为2个平行。试验前随机抽样20尾鱼,冷冻供化学分析用。试验期间,每天2次(上午9:00和下午3:00)手工投喂试验饲料使鱼达到饱食。投喂时,将粪便收集器取下,从锥底收集残饵,烘干后称重。饲料在水中的损失率通过在无鱼的桶中投入饲料,收集、烘干、称重后计算得到,并用于校正摄食率。投喂后,将粪便收集器重新装上。消化率的测定从第2周开始,每天全量法收集粪便,冷冻后供化学分析用。试验结束时,鱼饥饿1d后逐个称重,每桶取样10尾鱼作化学分析用。

试验期间,每天测定水温和水中溶氧,水中氨氮、亚硝氮、硝氮、pH、碱度和补充水的流量每2周测定1次。试验期间,水中溶氧高于10mg/L,氨氮、亚硝氮、硝氮检测不出,pH为7.66—8.04,进入每个桶中的水流量约为900L/h,碱度为4.0meq/L,水温为11—12℃,光照周期为12hrL:12hrD。试验周期为1个月。

饲料和鱼体的蛋白含量用Kjeldahl法分析,干物质在105℃下干燥衡重,灰分在马福炉中550℃下焚烧20—24h<sup>[5]</sup>;脂肪用氯仿、甲醇和水抽提测定<sup>[6]</sup>。

试验结束计算以下参数:

$$\text{摄食率(FR: \%)} = \frac{\text{摄入饲料总量} \times 100}{((\text{初始总体重} + \text{终末体重}) / 2) \times \text{投喂天数}}$$

$$\text{表观消化率(ADC: \%)} = 100 \times (\text{摄入饲料量} - \text{粪便量}) / \text{摄入饲料量}$$

$$\text{各营养物的表观消化率(\%)} = 100 - 100 \times (\text{饲料的表观消化率}) \times \frac{\text{粪便中营养物的含量}}{\text{饲料中营养物的含量}}$$

$$\text{初始体重(IBW: g)}$$

$$\text{特定生长率(SGR: \% / day)} = (\ln(\text{终末体重}) - \ln(\text{初始体重})) \times 100 / \text{d}$$

$$\text{饲料效率(FE: \%)} = 100 \times \frac{\text{湿重增重}}{\text{摄入饲料量}}$$

$$\text{蛋白生产效率(PPV: \%)} = \frac{(\text{终末鱼体蛋白含量} \times \text{终末鱼体总重} - \text{鱼体初始蛋白含量} \times \text{初始鱼体总重}) \times 100}{(\text{饲料蛋白含量} \times \text{饲料摄入量})}$$

$$\text{表观生物价(ABV)} = \text{蛋白生产效率} / \text{表观消化率}$$

组间平均值之间的差异的显著性通过方差分析后利用Newman-Keuls法进行多重比较得到,显著水平为p<0.05。

## 2 结 果

### 2.1 摄食率和消化率

由表3可见,当饲料中土豆蛋白(PPC)含量为5.6—11.1%时,虹鳟的摄食率比对照组显著下降(p<0.05),2.2%PPC含量组和对照组差异不显著(p>0.05)。添加蛋氨酸降低了虹鳟的摄食率(p<0.05)。除2.2%组外,其它各组饲料干物质的表观消化率显著高于对照组(p<0.05),添加蛋氨酸对饲料的表观消化率无明显影响(p>0.05)。含8.9%PPC的饲料的

蛋白消化率显著高于含 2.2%PPC 组 ( $p < 0.05$ )，其它组间差异不显著 ( $p > 0.05$ )。各组饲料的脂肪消化率之间无显著差异 ( $p > 0.05$ )。灰分的消化率在 5.6%PPC 组和 5.6%PPC + Met. 的饲料明显比对照和 2.2% 组高 ( $p < 0.05$ )，其它组间无显著差异。

表3 饲料中PPC含量对虹鳟摄食率和表观消化率的影响\*

Tab.3 Effect of incorporation of PPC on feeding rate and apparent digestibility for rainbow trout\*

PPC水平 PPC level(%)	0	2.2	5.6	8.9	11.1	5.6+Met
摄食率 Feeding rate (% of body weight)						
Mean	2.45a	2.36a	2.12b	1.83c	1.47d	1.89c
s. e.	0.00	0.02	0.03	0.09	0.09	0.02
表观消化率 Apparent digestibility coefficient (%)						
干物质 Dry matter	85.04a	84.98a	88.35b	91.58c	90.31c	88.07b
s. e.	0.95	0.19	0.42	0.57	0.61	0.83
蛋白质 Protein	93.85ab	93.48a	94.09ab	95.42b	93.86ab	95.15ab
s. e.	0.47	0.17	0.16	0.46	0.61	0.54
脂肪 Fat	89.43	90.34	89.10	90.84	90.52	87.90
s. e.	0.83	0.53	0.59	1.66	0.73	2.16
灰分 Ash	57.46a	56.08a	65.17ab	72.05b	63.04ab	67.48b
s. e.	2.79	1.05	1.36	2.03	2.34	4.37

\*“s.e.”表示标准误。平均值后不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ ) “s.e.” means standard error. Means with different superscript were significantly different ( $p < 0.05$ ).

## 2.2 生长和饲料利用

表4 饲料中PPC含量及添加蛋氨酸对虹鳟生长和饲料利用的影响\*

Tab.4 Effects of dietary PPC and supplemental methionine on growth and feed utilization of rainbow trout\*

PPC水平 PPC level(%)	0	2.2	5.6	8.9	11.1	5.6+Met
IBW	28.15	28.24	27.85	27.94	28.61	27.37
se	0.00	0.33	0.28	0.34	0.20	0.40
SGR	3.63a	3.51a	2.93b	2.08c	1.61d	2.43e
se	0.06	0.03	0.08	0.08	0.03	0.10
FE	143.43a	143.89a	134.78a	110.18b	109.43b	126.29ab
se	2.56	0.36	1.78	1.03	8.91	6.26
PPV	47.69	48.60	46.92	39.84	40.03	44.83
se	0.12	0.50	1.40	0.23	3.73	1.73
ABV	0.56a	0.57a	0.53ab	0.44b	0.44b	0.51ab
se	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.03

\* “s.e.” 表示。同表 3 注

IBW: 初始体重 initial body weight (g); SGR: 特定生长率 specific growth rate (%/day); FE: 饲料效率 feed efficiency (%); PPV: 蛋白生产效率 protein productive value (%); ABV: 表观生物价 apparent biological value

由表4可以看出,当饲料中的土豆蛋白含量增加时,生长呈下降趋势,PPC高于5.6%的各组生长率显著低于对照组( $p < 0.05$ ),含2.2%PPC的饲料组与对照之间无显著差异( $p > 0.05$ )。添加蛋氨酸显著降低生长速率( $p < 0.05$ )。饲料效率在含8.9%和11.1%PPC组显著下降( $p < 0.05$ ),添加蛋氨酸对饲料效率无明显影响。蛋白生产效率在各组间无显著差异( $p > 0.05$ )。表观生物价在含8.9%和11.1%PPC组显著降低( $p < 0.05$ ),添加蛋氨酸无显著影响。

### 2.3 鱼体化学组成

表5 饲料PPC含量及添加蛋氨酸对虹鳟鱼体组成的影响(%鱼体湿重)

Tab.5 Effects of dietary PPC levels and supplemental methionine on fish body composition  
(% on wet weight basis)\*

PPC水平 PPC level(%)	0	2.2	5.6	8.9	11.1	5.6+Met
干物质 Dry matter	28.5a	28.9a	27.7b	26.2c	25.4c	27.2b
s.e.	0.35	0.10	0.30	0	0.15	0.15
粗蛋白 Crude protein	13.8a	14.0ab	14.2bc	14.4c	14.4c	14.3c
s.e.	0.10	0.05	0.10	0.05	0.05	0.11
粗脂肪 Crude fat	12.8a	13.1a	11.6b	10.0c	9.3d	11.10b
s.e.	0.25	0	0.25	0	0.20	0.51
灰分 Ash	2.0a	2.0ab	2.1b	2.2c	2.2c	2.2c
s.e.	0	0	0	0.05	0.05	0.04

\*Means with different superscript were significantly different ( $p < 0.05$ ).

当饲料中使用PPC的含量为2.2%时,鱼体各项组成与对照无显著差异,但随着PPC的进一步增加,鱼体干物质显著下降,蛋白和灰分含量增加,脂肪含量下降。饲料中添加蛋氨酸显著提高鱼体灰分的含量而对其它成分无显著影响。

### 3 讨 论

本试验得出,当饲料中使用2.2%的土豆蛋白时,虹鳟的生长和饲料利用不受影响;当饲料中土豆蛋白的含量增加到5.6%时,虹鳟生长下降,但饲料效率不受影响;当饲料中土豆蛋白含量达到8.9%时,虹鳟的生长和饲料效率均下降。Moyano等的报道认为虹鳟利用土豆蛋白较差,他们用土豆蛋白替代了30%的鱼粉蛋白(饲料蛋白水平为45%),虹鳟的生长和饲料利用明显低于其它植物蛋白。Moyano等的报道认为,虹鳟投喂5.5—8.2%PPC生长和对照(全鱼粉蛋白饲料)相近,本试验结果表明,当饲料中PPC含量达8.9%时,虹鳟生长明显下降。Parova和Par<sup>[7]</sup>在鲤鱼的研究中投喂10%土豆蛋白的鱼的产量仅略低于10%鱼粉饲料(4%),而饲料中土豆蛋白含量不影响其它指标(如平均体重、体长和肥满度、健康状况及其它生长指标)。

在本试验中,随着饲料中土豆蛋白含量的增加,摄食率下降。植物蛋白对摄食率的影响的报道不一。在对团头鲂的研究中发现,当饲料中三叶草(*Trifolium sp.*)的含量逐渐增加时,摄食率上升<sup>[8]</sup>。在长吻𬶏的研究中,饲料中植物蛋白含量对摄食率无显著影响<sup>[9]</sup>。植物蛋白对摄食率影响的原因较多,可能与鱼的食性、植物蛋白的化学成分等有关。

土豆蛋白对鱼体组成的研究和本实验室以前的报道结果一致。Parova 和 Par 报道了在投喂 PPC 的鲤鱼中, 鱼体干物质中氮的含量略低。这与本试验的结果不同。

虽然许多作者报道了植物蛋白消化率较差的结果, 本试验中土豆蛋白的使用可提高表观消化率, 这可能是由于本试验使用的是粒度较细的蛋白浓缩物, 同时, 也表明虹鳟对土豆蛋白利用率较差的原因不是消化率。

影响土豆蛋白利用率的主要原因可能是: (1)适口性差, 因此降低了摄食率和饲料效率; (2)抗营养因子—土豆碱或其它蛋白酶抑制剂。在本试验中使用的土豆蛋白的土豆碱含量为 0.1% (由厂商提供—Cerestar Ltd. 丹麦)。因此, 通过计算, 本试验使用的饲料中土豆碱的含量在 0—0.111%。试验表明, 在对照和 2.2% 的土豆蛋白饲料间生长和饲料效率均无差异, 2.2% 土豆蛋白的饲料含土豆碱 0.0022%。Tacon 和 Jackson 报道了虹鳟饲料中土豆碱的含量应不高于 0.006% (30% PPC, 土豆碱含量不高于 0.02%)。本试验的结果支持这一结论。本试验得出, 饲料的生物价随土豆蛋白的使用而下降, 这表明, 土豆蛋白不仅影响摄食率, 也影响饲料蛋白的利用率; (3)不平衡的必需氨基酸, 虽然含土豆蛋白的饲料必需氨基酸的含量高于对照(全鱼粉组), 但是其生物价也许较低。本试验中表观生物价随土豆蛋白含量的增加而下降。

本试验中, 添加蛋氨酸降低了虹鳟的生长。饲料中过量蛋氨酸降低生长的结果在虹鳟中已有过报道。这些结果与本试验结果相似。但 Harding 等对沟鮰、Santiago<sup>[15]</sup>对罗非鱼的研究认为, 过量的蛋氨酸并不明显影响生长和饲料利用, 这与本试验结果不同, 可能是因为他们试验用鱼的规格较大 (分别为 220g/ind 和 62g/ind), 试验鱼对过量蛋氨酸的毒性作用有相对较高的耐受力。

总之, 虹鳟饲料中使用 2.2% 土豆蛋白对生长和饲料利用无影响。进一步的工作应研究其氨基酸的消化率和利用情况、促摄食物及其它养殖品种等方面。

## 参 考 文 献

- [1] Tacon A G J, Jackson A. Utilization of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds. In: *Nutrition and Feeding in Fish*. Cowey C B, Mackie A M M and Bell J G. eds. Press, London: Academic, 119—145. 1985
- [2] Moyano F J, Cardenete G, Higuera M de la. Nutritive value of diets containing a high percentage of vegetable protein for trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquat. Living Resour.*, 1992, 5:23—29
- [3] Xie S, Jokumsen A. Replacement of fish meal by potato protein concentrate in the diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): growth, feed utilization and body composition. *Aqua. Nutr.*, 1997, 3:65—69
- [4] Dabrowska H, Wojno T. Studies on the utilization by rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich) of feed mixtures containing soya bean meal and an addition of amino acids. *Aquaculture*, 1977, 10:299—312
- [5] AOAC(Association of Official Analytical Chemists). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 14th edition. S Williams (Editor). Association of Official Analytical Chemists. Inc., Arlington, VA, 1984, 1141p.
- [6] Bligh E G, Dyer W J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 1959, 37:911—917
- [7] Paraova J, Par O. The use of potato protein in feed mixture for intensive rearing of carp stock.. *Zivocisna Vyroba*, 1979, 24:229—235

- [8] Jia L, He X, Yang Y. Evaluation of partial replacement of fish meal and soybean meal cake by alfalfa, *Trifolium sp.*, in practical diets for Chinese blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*, fingerlings. In: *Finfish Nutrition Research in Asia*. Proceedings of the Fourth Asian Fish Nutrition Workshop, edited by S S De Silva, 1991, pp. 119—123. 1991
- [9] 解绶启、雷武. 长吻𬶏人工饲料研制及使用技术. III. 饲料中补充赖氨酸和蛋氨酸的效果及经济分析. 梁彦龄、刘伙泉(主编), 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理(一). 北京: 科学出版社, 1995, 324—329

## EFFECT OF REPLACEMENT OF FISH MEAL BY POTATO PROTEIN CONCENTRATE IN THE DIET FOR RAINBOW TROUT ON FEEDING RATE, DIGESTIBILITY AND GROWTH

XIE Shouqi<sup>1)</sup> and Alfred Jokumsen<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430072)

<sup>2)</sup>(Danish Institute for Fisheries Technology and Aquaculture, North Sea Center, Hirtshals, Denmark)

**Abstract** Six isonitrogenous and isoenergetic diets were composed to investigate the effects of incorporation of potato protein concentrate (PPC) and supplementation of methionine in the diet for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on feeding rate, digestion, growth, feed utilization and body composition. The control diet contained all Danish L T-fish meal as protein sources. The other experimental diets contained 2.2, 5.6, 8.9 and 11.1% PPC respectively. Diet 6 contained 5.6% PPC and 1.7% methionine. A 4-week trial was conducted at about 12°C. The results showed that feeding rate decreased with increased incorporation levels of PPC. Apparent digestibility of dry matter, crude protein and ash increased with increased proportion of dietary PPC, while there was no significant effect on the apparent digestibility of crude fat. The incorporation of 5.6% PPC decreased growth rate and 8.9% PPC decreased both growth and feed efficiency. Supplementation of 1.7% methionine decreased both feeding rate and growth.

**Key words** *Oncorhynchus mykiss*, Potato protein concentrate, Replacement, Fish meal