

草鱼对葡萄糖和淀粉作为能源的利用研究

田丽霞, 刘永坚, 刘栋辉, 梁桂英, 赵小奎
(中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275)

摘 要: 通过 10 周生长实验和同位素示踪实验探讨草鱼对不同结构糖的利用. 生长实验结果显示, 草鱼摄食以葡萄糖作为糖源的饲料后其相对生长率、饲料效率、蛋白质效率均显著高于摄食以淀粉作为糖源的饲料组. 同位素示踪实验结果显示, 草鱼灌喂¹⁴C-标记葡萄糖饲料后 24 h 内每 2 小时间隔内呼出的¹⁴CO₂ 放射活度比均高于灌喂¹⁴C-标记淀粉饲料组. 说明草鱼对于葡萄糖作为能源的利用优于对淀粉作为能源的利用.

关键词: 葡萄糖; 淀粉; 草鱼; 生长; 能源

中图分类号: Q175 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 02-0104-03

草鱼是我国最主要的淡水养殖鱼类之一. 以其肉质鲜美, 价格低廉而受到广泛欢迎. 糖是鱼类饲料中最廉价的能量来源, 但不同种类的对糖的利用程度却有较大的差别. 对糊精, 鳊鱼最多只能利用 10%, 真鲷也只能利用 20%, 鲤鱼则可利用 30%, 而草鱼饲料中糖的含量可高达 56%, 但一些高糖含量的日粮会使草鱼肠系膜脂肪过多沉积和肌肉发软, 从而影响了其正常生长并使其肉质下降. 另一方面, 鱼类对于不同种类糖的利用性也有差别, 一些种类对于结构简单的糖的利用性较好, 如鲑鱼、鲮鱼、高首鲟^[1,2], 而另一些种类则对结构复杂的糖的利用性较好, 如斑点叉尾鮰、鲤鱼等^[3]. 为了探讨草鱼这种典型的草食性鱼类对不同种类糖的利用性, 本文通过生长实验和同位素示踪实验研究了草鱼摄食葡萄糖和淀粉饲料后生长、饲料效率、蛋白质效率以及灌喂¹⁴C-葡萄糖和¹⁴-淀粉后能量代谢的情况.

1 材料与方法

1.1 生长实验 试验饲料配方和成分分析如表 1 所示. 颗粒饲料粒径为 1.5 mm, 试验草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 由本实验室鱼场提供. 平均体质量为 (11.32 ± 0.14) g, 饲养试验在室内循环流水过滤水族箱中进行 (98 cm × 48 cm × 42 cm), 每种饲料设 3 个平行, 每个平行放鱼 30 尾. 水源为经曝气去氯后的自来水, 水温平均为 (28.85 ± 0.50) °C, 水中溶氧量为 (5.01 ± 1.28) mg/L, pH 值为 7.55 ± 0.11, 氨氮的质量浓度为

表 1 试验饲料配方及营养组成

Tab 1 Formulation and composition of experimental diets w/ %

组成	葡萄糖 饲料	淀粉 饲料	组成	葡萄糖 饲料	淀粉 饲料
酪蛋白	32.0	32.0	复合维生素 ²⁾	2.0	2.0
明胶	8.0	8.0	复合无机盐 ³⁾	8.0	8.0
葡萄糖	30.0	0	纤维素	11.89	11.89
玉米淀粉	0	30.0	Vc ⁴⁾	1.0	1.0
玉米油	3.0	3.0	胆碱	0.6	0.6
混合鱼油 ¹⁾	3.0	3.0	三氧化二铬	0.5	0.5
			三氧化二钼	0.01	0.01
水份	10.49	10.97	总糖	26.55	26.80
粗蛋白	36.83	36.23	灰分	5.33	5.23
粗脂肪	5.82	5.34			

1) 混合鱼油采用 Bakels Edible 油脂公司生产; 2) 参考文献 [4]; 3) 参考文献 [5]; 4) Vc 采用 w=25% Vc 多聚磷酸酯 (0.03 ± 0.03) mg/L. 每日光照时间为 12 h. 试验前驯养草鱼 3 周以适应环境. 正式试验开始时, 称草鱼初始体质量, 按鱼体质量的 5% 确定投饲量, 每日饲料分成 6 等份, 分别于 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 19:00 各投喂一次, 每 2 周称一次总体质量, 检查生长情况, 并相应调整投喂量. 饲养周期为 10 周.

1.2 样品采集和分析 生长实验结束后称量鱼体. 空腹 24 h 之后, 随机从每箱取鱼 3 尾, 立即处死, 剪碎, 在 105 °C 烘至恒质量制备全鱼样品, 另取 3 尾鱼去鳞取两侧肌肉样品. 采用 105 °C 常压干燥法、凯氏定氮法、索氏抽提法及 550 °C 灼烧法分别测定饲料、全鱼和肌肉的水分、粗

蛋白、脂肪和灰分。总糖的测定采用 3, 5-二硝基水杨酸法。

1.3 标记淀粉的制备 于谷粒灌浆期用移液管定量吸取¹⁴C-葡萄糖均匀涂布在水稻的功能叶片上, 连续处理 7 d, 在自然光照下, 使其自然成熟, 收集谷粒、晒干、粉碎, 测得每毫克淀粉放射活度为 $1.3 \times 10^5 \text{ Bq}^{[6]}$ 。

1.4 标记葡萄糖和标记淀粉的灌喂 生长实验结束后, 分别在投饲葡萄糖饲料和淀粉饲料 2 h 后, 取出体质量为 100 g 左右的试验鱼各 6 尾, 用 MS-222 麻醉, 分别将装有标记葡萄糖和标记淀粉的胶囊由食道插管送至前肠部位。葡萄糖组灌喂量每 100 g 鱼体为 $3.7 \times 10^5 \text{ Bq}$, 淀粉组灌喂量每 100 g 鱼体为 1 mg。灌喂后将鱼置于 1 L 水中, 洗浴 10 min, 测定水中泄漏的放射活度。

1.5 CO₂ 的收集与测定 将灌喂后的每一尾草鱼分别放入特制的气体收集装置中, 内装 3 L 水, 用饱和 NaOH 除去空气中的 CO₂ 然后通入上述装置, 排出的气体经过两级收集瓶, 收集鱼呼出的 CO₂, 每个收集瓶内装有 $\rho = 10 \text{ g/L NaOH}$ 50 mL。每 2 小时换一次收集瓶, 将换下的两级收集液合并混匀, 并从中吸取 1 mL, 置于液闪瓶内, 然后加入 3 mL 甲醇, 10 mL 闪烁液, 摇匀, 置黑, 测定此 2 h 内碱液中 CO₂ 的放射活度, 计算出其占灌喂放射活度的比率(%)。收集时间持续 24 h。

2 结 果

2.1 生长、饲料效率和蛋白质效率 经过 10 周的生长实验, 结果表明草鱼摄食葡萄糖饲料后其相对生长率, 饲料效率和蛋白质效率均显著高于摄食玉米淀粉组 (见表 2)。

表 2 试验鱼生长、饲料效率和蛋白质效率¹⁾

Tab 2 Relative growth rates, feed efficiency and protein efficiency ratio of grass carp %			
组 别	葡萄糖组	淀粉组	
相对生长率 ²⁾	7.29±0.49 ^a	5.43±0.59 ^b	
饲料效率 ³⁾	75.60±2.49 ^a	64.04±2.57 ^b	
蛋白质效率 ⁴⁾	2.13±0.14 ^a	1.77±0.07 ^b	

- 1) 同行上标不同字母表示有显著差异 ($P < 0.05$);
- 2) 相对生长率= [(终末平均体质量-初始平均体质量)/初始平均体质量] × 100%;
- 3) 饲料效率= [(终末平均体质量-初始平均体质量)/平均每尾鱼摄入饲料总质量] × 100%;
- 4) 蛋白质效率= [(终末平均体质量-初始平均体质量)/平均每尾鱼摄入蛋白质总质量] × 100%

2.2 鱼体组成 从表 3 可以看出, 全鱼蛋白质和灰分含量不受饲料中糖的种类影响, 但摄食淀

粉饲料组全鱼粗脂肪含量显著高于葡萄糖组, 而水分含量显著低于葡萄糖组, 肌肉组成与全鱼组成呈相同的趋势。

表 3 试验鱼全鱼和肌肉的营养成份组成¹⁾

Tab 3 Whole body and muscle nutritional composition of grass carp %			
组 别		葡萄糖组	淀粉组
全鱼	水分	71.98±1.85 ^a	68.26±0.93 ^a
	粗蛋白	16.18±0.93 ^a	16.09±0.76 ^a
	粗脂肪	9.18±0.74 ^a	13.51±0.33 ^b
	灰分	2.81±0.24 ^a	2.75±0.17 ^a
肌肉	水分	79.13±0.18 ^a	78.81±0.38 ^a
	粗蛋白	17.52±0.14 ^a	17.61±0.17 ^a
	粗脂肪	1.41±0.14 ^a	1.75±0.10 ^b

1) 以湿质量为单位, 同一行右上角不同英文上标字母表示有显著差异 ($P < 0.05$)

2.3 草鱼灌喂¹⁴C-葡萄糖和¹⁴C-淀粉后, 呼出

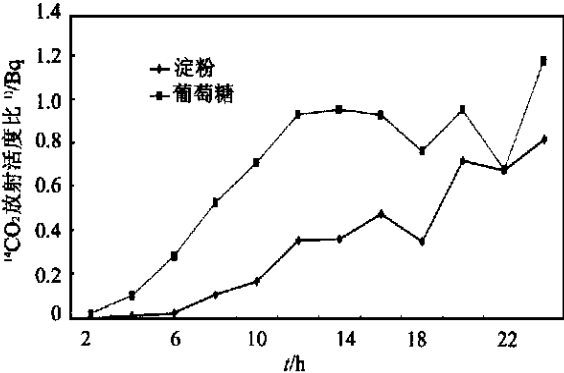


图 1 草鱼灌喂¹⁴C-葡萄糖和¹⁴C-淀粉后呼出 CO₂ 的放射活度比的变化 (n=6)

Fig. 1 Variations in the respiratory rate of ¹⁴C-glucose and ¹⁴C-starch to ¹⁴CO₂ in grass carp

1) 每 100 g 鱼体在 24 h 内每隔 2 h 呼出的¹⁴CO₂

CO₂ 放射活度比的变化 从图 1 可以看出, 灌喂¹⁴C-葡萄糖和¹⁴C-淀粉后, 草鱼呼出¹⁴CO₂ 逐渐增多, 两组的变化趋势相近, 然而灌喂¹⁴C 葡萄糖后草鱼在 24 h 内每间隔 2 h 内间呼出的¹⁴CO₂ 的放射活度占灌入¹⁴C-葡萄糖放射活度的百分比均高于灌喂¹⁴C-淀粉组; 同时, 葡萄糖组草鱼在 24 h 内呼出的¹⁴CO₂ 总量显著高于淀粉组。

3 讨 论

与陆生动物相似, 鱼类所需能量来源是饲料中的糖、脂肪和蛋白质。但陆生动物是以糖作为其最主要的能量来源, 对糖有较好的利用率。而鱼类对糖的利用程度一般认为较陆生动物低, 不同种类鱼对糖的利用程度似乎亦有很大差异。

如何提高鱼类能量饲料中糖的利用率,降低蛋白质转化为能量的比率。这是鱼类营养学中一个十分重要的课题,其意义在于充分利用糖这种丰富廉价的能量来源,减少饲料蛋白质转化为能量,使其最大程度地转化为体蛋白的增加,从而降低饲料成本,有利于鱼类健康和取得更好的经济效益。在鱼类,已有的报道表明,糖具有节约蛋白质的作用,当蛋白质与糖一起被摄入鱼体时,在鱼体内储留的氮比单独摄入蛋白质时要多^[7]。示野贞夫(1987)的研究表明,鲤鱼摄取添加糖的饲料后,糖在作能源的同时还能抑制氨基酸分解酶的活性,减少氮的排泄,提高蛋白质的蓄积率^[8]。但是,不同种类的糖对于不同种类的蛋白质节约效果却有一定的差异。Buhler 和 Halver (1961)给大鳞大麻哈鱼幼鱼饲喂含不同糖源的饲料时,发现葡萄糖、麦芽糖、蔗糖使鱼获得最好的生长率,其次是糊精、果糖、半乳糖和马铃薯淀粉^[1]。Hung 等(1989)的研究表明,给高首鲟饲喂含葡萄糖和果糖的饲料时,比饲喂含糊精和淀粉的饲料时获得更高的生长率^[2]。而鲤鱼则在摄食含糊化淀粉的饲料时生长率和饲料效率最高,其次才是含糊精的饲料和含葡萄糖的饲料^[3]。斑点叉尾 可以利用糊精和玉米作为能量来源,却不可以利用葡萄糖、果糖、麦芽糖或蔗糖^[6]。以上实验表明不同鱼类对糖的利用率与糖的种类有很大的关系,亦可能与糖的结构有关。

从本实验结果来看,摄食葡萄糖饲料后,草鱼相对生长率、饲料效率,蛋白质效率均显著高于摄食淀粉饲料组,这表明对于草鱼,结构简单的葡萄糖比结构复杂的淀粉似乎具有更好的蛋白质节约效果。而同位素实验结果也支持了这一观点,从灌喂¹⁴C-葡萄糖和¹⁴C-淀粉后,24 h 内¹⁴

CO₂ 的呼出总量以及每 2 小时内呼出¹⁴CO₂ 的放射活度比来看,葡萄糖组均显著高于淀粉组。这说明当葡萄糖被摄入鱼体之后,可以很快地被氧化,分解为 CO₂,释放出 ATP,这不仅减少了蛋白质作为能源的消耗,同时 ATP 的形成有利于氨基酸的活化以及合成鱼体蛋白质。而对于淀粉,草鱼首先必须将其消化分解成葡萄糖才能吸收利用,这就导致淀粉在提供 ATP 时的滞后。在对其后血清中葡萄糖含量的测定亦证实了这一现象(另作报道)。由此看来,草鱼对于葡萄糖作为能源的利用优于淀粉作为能源的利用。

本文承蒙冯健博士审阅,谨致谢意。

参考文献:

- [1] BUHLER D R, HALVER J E. Nutrition of salmonoid fishes IX Carbohydrate requirements of chinook salmon[J]. J Nutr, 1961, 74: 307—318.
- [2] HUNG S S O, FYNN-AIKINS F K, LUTES P B, et al. Ability of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) to utilize different carbohydrate sources[J]. J Nutr, 1989, 110: 727—733.
- [3] FURUICHI M, YONE Y. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red sea bream[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1982, 48: 945—948.
- [4] OGINO C, YANG G Y. Requirement of rainbow trout for dietary zinc[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1978, 44(9): 1015—1018.
- [5] 黄耀桐,刘永坚.草鱼鱼种无机盐需要量研究[J].水生生物学报,1989,13(2): 135—151.
- [6] 王永锐,曾绍集,周汉钦.杂交水稻光和强度及¹⁴C 的分配与穗粒性状的关系[A].见:王永锐.王永锐水稻文集[D].广州:中山大学出版社,1998.
- [7] COWEY C B, ADRON J W, Brown D A. Studies on the nutrition of marine flatfish The metabolism of glucose by plaice (*pleuronectes platessa*) and the effect of dietary energy source on protein utilization in plaice[J]. Br J Nutr, 1975, 33: 219—231.
- [8] 示野贞夫.鱼类糖代谢の特性と适応性[J].水产の研究,1987,6(1):

Studies on the Utilization of Glucose and Starch as an Energy Source of Grass Carp

TIAN Li-xia, LIU Yong-jian, LIU Dong-hui, LIANG Gui-ying, ZHAO Xiao-kui

(School of Life Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: A 10-week growth trial and an isotope experiment were conducted to study the carbohydrate utilization by grass carp. The outcomings showed that fish fed glucose diet had significantly ($P < 0.05$) higher relative growth rate, feed efficiency and protein efficiency ratio than those fed starch diet and fish fed ¹⁴C-glucose exhaled extraordinarily more ¹⁴CO₂ every 2 hours within 24 hours than those fed ¹⁴C-starch. The results suggested that glucose appear to be a more excellent energy source than starch in grass carp.

Keywords: glucose; starch; grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*); growth; energy source