

异育银鲫口服不同剂量淀粉后血糖和血脂代谢变化

王芬¹ 谭青松¹ 解绶启² 朱晓鸣² 沈建忠¹

(1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070; 2. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

METABOLIC RESPONSES OF PLASMA GLUCOSE AND TRIGLYCERIDE OF GIBEL CARP (*CARASSIUS AURATUS GIBELIO*) AFTER ORAL ADMINISTRATION OF DIFFERENT DOSAGE OF SOLUBLE STARCH

WANG Fen¹, TAN Qing-Song¹, XIE Shou-Qi², ZHU Xiao-Ming² and SHEN Jian-Zhong¹

(1. Fisheries College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070; 2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

关键词: 异育银鲫; 可溶性淀粉; 血糖; 血脂

Key words: Gibel carp; Soluble starch; Plasma glucose; Plasma triglyceride

中图分类号: S965.117 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2008)04-0610-05

碳水化合物是鱼类饲料中易得且价廉的非蛋白能源,可以节约蛋白质分解供能^[1],但大多数鱼类对糖的耐受量很低^[2],表现出一种类似糖尿病的症状^[3,4]。反映鱼类的血糖调节能力的首要指标是糖耐量实验,Wilson^[1]早在1994年就通过灌喂方式进行糖耐量实验来研究鱼类对糖的耐受情况。鱼类对糖的利用能力因鱼的种类不同而不同。在糖耐量实验中,对于肉食性的鱼类,需要在饲料中给予较低水平的碳水化合物才会产生一个基础血糖水平,如果没有对这种含碳水化合物的饲料进行适应,它们对血糖的调节能力极为低下^[5]。杂食性鱼类对葡萄糖的耐受量要比肉食性鱼类高^[2]。不同的饲料碳水化合物来源对鱼类葡萄糖耐量的结果也会产生一些影响,如对褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)饥饿48h后进行葡萄糖耐量实验,摄食15%葡萄糖和麦芽糖的鱼血糖峰值分别出现在摄食后5—8h(200mg/100mL)和5h(148mg/100mL),然后分别在摄食后24h和16h后开始下降;而对摄食含5%—25%糊精的褐牙鲈,血糖峰值(87—97mg/100mL)显著低于葡萄糖和麦芽糖^[6]。Lin, et al.^[7]研究表明,奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)口服相同剂量的葡萄糖或淀粉后,摄食葡萄糖的鱼血糖和尿中葡萄糖含量显著高于淀粉组。

异育银鲫(*Carassius auratus gibelio* (Bloch))属辐鳍鱼纲鲤形目鲤科鲫属的杂食性鱼类,近年来有取代鲤鱼成为我国非滤食鱼类中第二大淡水养殖鱼类的趋势^[8]。关于异育银

鲫的营养需求和饲料配方技术,已经开展了不少研究,如:摄食水平对异育银鲫生长和能量收支的影响的研究^[9],饲料中添加包膜氨基酸对异育银鲫生长和体成分的影响^[10],柠檬酸对异育银鲫生长及营养物质消化率的影响^[11]以及饲料中适宜的糖类含量^[12];谭青松^[13]报道了异育银鲫饲料中不同碳水化合物来源的利用以及适宜的碳水化合物/脂肪比例等研究结果。

面粉和小麦等含淀粉的原料通常是鱼饲料中的重要碳水化合物来源,且在饲料中的比例也很大,一般鲫鱼饲料中的淀粉含量高达20%—25%。裴之华^[12]等报道,饲料中碳水化合物高于24%时,异育银鲫摄食、生长和饲料效率都显著下降。蔡春芳^[14]等进行了异育银鲫的葡萄糖耐量实验,研究口服不同剂量葡萄糖后的代谢反应以揭示胰岛素在异育银鲫糖代谢过程中的作用规律。但异育银鲫口服高浓度淀粉后的耐受情况迄今未有研究报道。因此我们试图给异育银鲫口服高浓度淀粉,通过血糖和血脂变化来研究其对高浓度淀粉的耐受情况,从而探讨鱼类对不同含量淀粉的利用情况。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼、饲料和养殖管理 异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*) (方正银鲫 × 兴国红鲤)由武汉市水产养殖场提供,平均体重为(178 ± 10)g。运回后先用2%食盐温水

收稿日期: 2007-09-10; 修订日期: 2008-03-17

基金项目: 淡水生态与生物技术国家重点实验室开放课题基金资助

作者简介: 王芬(1982—),女,湖北襄樊人;在读硕士;研究方向为水产动物营养与饲料学。E-mail: wangfen-6-10@163.com

通讯作者: 谭青松,男,博士,讲师;从事水产动物营养与饲料学、鱼类生理生态学研究。E-mail: tanqs2000@163.com

泡消毒 10min,再转入钢化玻璃循环缸(直径 80cm,水深 75cm,每个缸水流为 5L/min)中,每缸放养 10尾,进行驯养以适应环境。整个养殖过程在华中农业大学水产养殖基地进行。驯养期间,每天上午 9:00 投喂商品颗粒饲料,饲料组成为粗蛋白 33.28%、粗脂肪 4.72%、灰分 6.32%、水分 11.45%。投喂之前关掉水泵和气泵,投喂 1h后吸去残饵和粪便并排水使鱼缸中每天保持 1/3 的水体交换,再打开水泵和气泵以保持水质清新。饲养期间全日充气增氧,溶解氧为 5mg/L 以上,pH 6.9—7.4。饲养 2 周后禁食 4 周使储备糖原消耗。禁食期间其他管理不变。

1.2 灌喂淀粉及血糖、血脂的测定 禁食 4 周后,轻轻地从缸中将鱼捞取,用 50 μ g/L MS-222 使其麻醉并称重,并按体重和分组剂量进行可溶性淀粉(分析纯)灌喂,然后放回原水体。组剂量为 111.4mg/100g 体重,组剂量为 222.8mg/100g 体重,组剂量为 334.1mg/100g 体重。在灌喂前(0h)及灌喂后 1、2、4、6、8、10、12、16、24h 分别取鱼 5 尾,尾静脉抽取血液。

抽取的血液经过离心取血清然后保存在 -20 冰箱中 24h 内测定其血糖和甘油三酯含量。血糖测定用葡萄糖氧化酶-过氧化物酶终点比色法测定(试剂盒由卫生部上海生物制品研究所生产)。血脂测定用甘油磷酸氧化酶法(试剂盒由上海荣盛生物技术有限公司生产)。

1.3 数据处理 采用 Statistica 对所有数据进行单因素方差

分析(One-way ANOVA),当实验处理对结果影响差异显著时($p < 0.05$),进行 Duncan's 多重比较。

2 结果

2.1 口服淀粉后血糖的变化

口服三组剂量的异育银鲫的血糖变化趋势基本相似,都是在灌喂后 1h 显著升高,组在 6h 达到最高水平,组和组在 4h 达到最高水平,然后开始下降,24h 时仍然显著高于灌喂前的血糖水平(图 1)。血糖升高的幅度随着淀粉水平的升高而提高,组血糖峰值为 20.38mmol/L,组血糖峰值为 21.43mmol/L,组血糖峰值为 22.47mmol/L,但三者之间的差异性不显著($p > 0.05$)。组和组异育银鲫的血糖浓度分别从 6—8h 和 4—8h 处于显著下降趋势($p < 0.05$),而组异育银鲫的血糖浓度在 10—12h 开始显著下降($p < 0.05$)。三组的血糖浓度在 8—10h 都是略有下降,到 12h 都有一个明显的下降趋势。12—24h 三组的血糖浓度变化趋势基本一致,都呈继续下降趋势且 12—16h 变化不显著,16—24h 变化不显著。

灌喂前(0h)各组的血糖含量差异不显著,但 4h 组的血糖浓度要显著低于组和组,在 2h、16h 组异育银鲫的血糖浓度要显著高于组和组,在 6h 三组之间没有显著性差异,其他时间血糖浓度随着灌喂剂量的增加而显著上升。

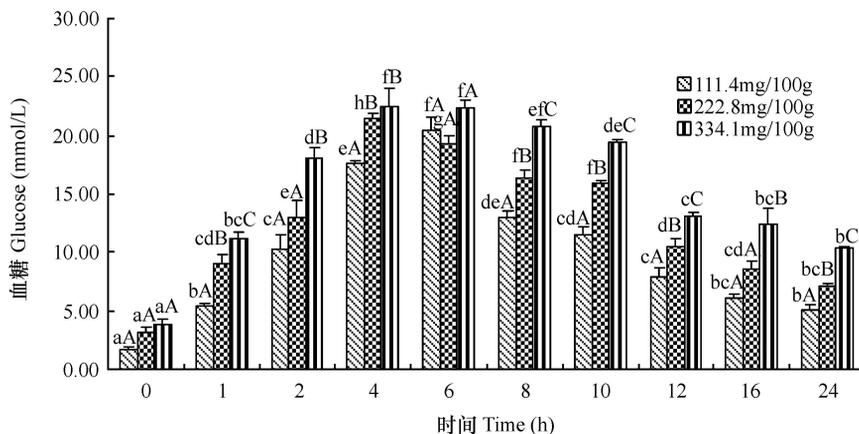


图 1 口服不同剂量淀粉对血糖的影响

Fig. 1 Effect of different starch dose administered on plasma glucose

* 图中数据为三组鱼的平均值 \pm 标准误。图柱上方不同小写英文字母表示同一浓度不同时间差异显著 ($p < 0.05$)。图柱上方不同大写英文字母表示同一时间不同浓度差异显著 ($p < 0.05$),下同

* Values are means \pm S. E. of three replicate groups of fish. Means in each column not sharing common small letters showed significant difference of the same administration dose at different times ($p < 0.05$). Means in column not sharing common big letters superscript showed significant difference of different administration dose at the same time ($p < 0.05$). The same as follows

2.2 口服淀粉后血脂的变化

如图 2 所示,在灌喂淀粉前(0h)异育银鲫的甘油三酯水平较高,组、组和组的浓度分别为 1.53mmol/L、1.6mmol/L 和 1.4mmol/L。灌喂后 1h 时,浓度显著升高达到最高水平 ($p < 0.05$),此时组、组和组的浓度分别为

1.91mmol/L、2.07mmol/L 和 1.92mmol/L,且三组之间差异不显著 ($p > 0.05$)。组的甘油三酯浓度在 1—4h 不断显著降低且低于禁食水平,4—24h 继续下降,4h、6h 和 6h、8h 及 8h、10h 无显著差异性,10—24h 差异性也不明显。组的甘油三酯浓度在 1—2h 显著降低且高于禁食水平,2—8h 无显著差异,8—

10h显著降低且低于禁食水平,10—24h无显著差异。组的甘油三脂浓度在1—2h显著降低且低于禁食水平,2—16h无显著差异,16—24h又显著上升且和禁食水平无显著差异。

灌喂前(0h)组的甘油三脂浓度要显著低于组、

组,12h时组要显著高于组、组,1h和16h时三个剂量组无显著差异,24h时组要显著低于组且组与组、组无显著差异,其他时间三组之间的甘油三脂浓度都有显著差异且都为组高于组,组高于组。

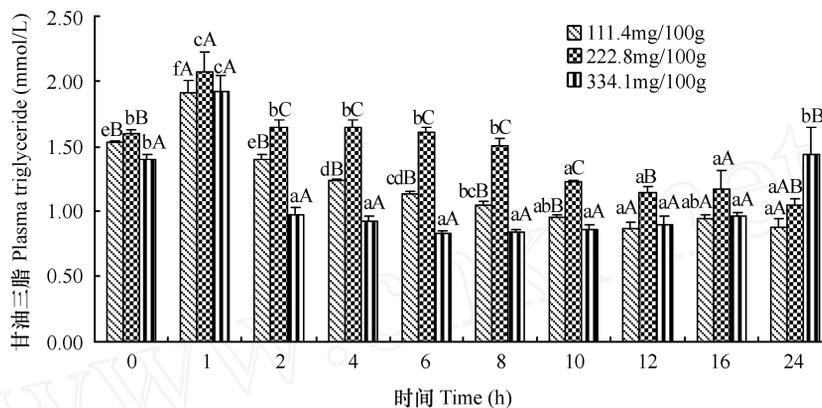


图2 口服不同剂量淀粉对血清甘油三脂的影响

Fig. 2 Effect of different starch dose administrated on plasma triglyceride

3 讨论

鱼类对碳水化合物的耐受量很低^[2],在绝大多数的糖耐量实验中,鱼类都表现出持续的高血糖含量^[15-20]。在本实验中,对异育银鲫灌喂三种高浓度淀粉,各组鱼也同样表现出持续的高血糖含量,且在24h内的血糖含量都高出禁食水平。这表明异育银鲫所吸收进入体内的葡萄糖未能被及时利用。实验中所表现的鱼类对葡萄糖利用的有限性可能不是胰岛素分泌绝对量不足引起,而是胰岛素分泌速度跟不上鱼类对糖的吸收速度,使吸收的葡萄糖不能被很好地利用^[21]。

本研究中,给杂食性的异育银鲫灌喂高剂量淀粉,最高浓度组(334.1mg/100g体重)鱼体内的血糖峰值出现较早,且显著高于低剂量组的峰值,同时在24h后,高剂量组的血糖值仍远远高于禁食的基础水平,而低剂量组已接近基础水平。这与在银锯眶鲷^[22]中的研究结果相似。同时,本实验中血糖浓度峰值随灌注剂量的增大而增高,这与蔡春芳^[14]等用葡萄糖灌喂异育银鲫时所出现的剂量反应相一致。但与蔡春芳等^[14]的研究结果比较,本研究中的血糖峰值较低,且222.8mg/100g和334.1mg/100g组的峰值没有显著差异,这可能是由于淀粉在吸收进入循环系统之前的消化吸收过程较为缓慢而漫长,从而可以避免大量的葡萄糖直接进入循环系统引起血糖过高,造成代谢负担。这也解释了为何在日粮中添加高剂量淀粉时,异育银鲫的生长并未受到很大影响^[13]。

蔡春芳等^[14]在异育银鲫口服不同剂量葡萄糖后的代谢反应的研究中,发现口服剂量为111.4mg/100g体重时,异育银鲫血糖峰值(20.54mmol/L)出现在口服后3h左右,而在本实验中,对异育银鲫灌喂相同剂量的淀粉血糖峰值

(20.38mmol/L)出现在口服后6h左右,且后期下降的速率也慢。这些结果也反映了鱼类对不同来源碳水化合物利用的差异。淀粉等大分子碳水化合物需要进行消化降解成葡萄糖才能进入循环系统,而葡萄糖是小分子糖,可以直接被吸收,所以血糖升高的速度要快一些。而Lin, et al^[17]研究表明,奥尼罗非鱼口服相同剂量的葡萄糖或淀粉后,摄食葡萄糖的鱼血糖和尿中葡萄糖含量显著高于淀粉组,血糖峰值均在摄食后3h时出现(葡萄糖组为25.45mmol/L;淀粉组为8.24mmol/L),与本实验结果存在差异。这可能与两种鱼口服的剂量有关,因本研究中采用的淀粉浓度较高。本实验灌喂淀粉与之前蔡春芳^[14]灌喂葡萄糖所引起的异育银鲫血糖浓度变化的差异性,也进一步表明不同的碳水化合物源对鱼类葡萄糖耐量的结果会产生影响^[6]。

众多的研究结果表明,鱼类在禁食后口服不同剂量的碳水化合物,其血清的甘油三脂含量在口服后的短时间内上升,随后显著降低至灌注前水平^[14,19,23]。本实验也发现,异育银鲫口服淀粉后1—2h内血清的甘油三脂含量随着血糖浓度的迅速上升呈迅速下降,这可能是由于禁食之后葡萄糖的突然大量摄入造成生理不适而发生代谢通量转移^[24]。血浆胰高血糖素和生长抑素分泌较多,而胰岛素的分泌受到了抑制,从而促进脂肪分解而抑制甘油三脂的合成。且本研究中,在口服淀粉后的1—16h内,组异育银鲫的甘油三脂浓度的峰值以及之后的持续低水平都比组和组要低,这更进一步证明了上述观点。蔡春芳等^[14]还测定了肝糖原的浓度变化,发现肝糖原的变化趋势与甘油三脂一致,这进一步证明了异育银鲫在口服剂量较高时体内的分解代谢越快。

殷帅文等^[25]在饥饿后再充分投喂对鲮鱼血液生化指标的影响研究表明,一定的血液营养成分浓度是鱼类维持生存的必需条件。在周期性缺食或营养匮乏的情况下,鱼类通过

分解体内的糖原、脂类和蛋白来维持体内血糖、血脂和血红蛋白浓度不至于降得太低,以延续其最基本的代谢。而在这三大能源物质中,单位质量的脂肪在体内氧化后供能最多,消耗较小质量的脂肪就可以提供足够的能量满足生存所需^[26]。本实验中,禁食4周后,异育银鲫的血糖水平无显著差异,而组的血脂水平显著低于组、组,组与组差异不显著,这表明禁食期间异育银鲫主要通过氧化分解体脂来维持基本生存。产生这种差异性的原因可能是由于本实验在自然条件下进行,第组的实验鱼由于在暂养时光照条件相对较差,摄食相对较少,从而可分解动用的脂肪也少,进而导致血脂水平低。蔡春芳等^[26]曾指出,对禁食反应产生直接影响的是禁食开始时鱼体内各种能量物质的储备情况,且储备多,利用强度大。然而,从本实验的结果来看,禁食初期的血脂差异对整个实验结果不会产生显著影响,因为随着取样时间的后推,第组鱼的甘油三酯水平在一段时间内不断下降,从总体上呈现出随淀粉摄入变化和时间变化的代谢反应趋势。

参考文献:

- [1] Yin S W, Lin X Q, Chen J H. Effect of feed deprivation and refeeding on their blood biochemical indices of the mullet (*Mugil cephalus* Linnaeus) [J]. *Aquaculture*, 2007, **28** (1): 7—9 [殷帅文, 林学群, 陈洁辉. 饥饿以及再充分投喂对鲈鱼血液生化指标的影响. 水产养殖, 2007, **28** (1): 7—9]
- [2] Moon T W. Glucose intolerance in fish: fact or fiction [J]? *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2001, **129B**: 243—249
- [3] Furuichi M, Yone Y. Changes in activities of hepatic enzymes related to carbohydrate metabolism of fishes in glucose and insulin-glucose tolerance tests [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography*, 1982, **48a**: 463—466
- [4] Wilson R P, Poe W E. Apparent inability of channel catfish to utilize dietary mono- and disaccharides as energy sources [J]. *Nutrition*, 1987, **117**: 280—285
- [5] Hemre G I, Mommensen T P, Krogdahl A. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2002, **8**: 175—194
- [6] Lee S M, Kim K D, Lall S P. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 2003, **221**: 427—438
- [7] Lin S C, Liou C H, Shiau S Y. Renal threshold for urinary glucose excretion by tilapia in response to orally administered carbohydrates and injected glucose [J]. *Fish Physiology Biochemistry*, 2000, **23**: 127—132
- [8] Xue M, Cui Y. Effect of several feeding stimulants on diet preference by juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*), fed diets with or without partial replacement of fish meal by meat and bone meal [J]. *Aquaculture*, 2001, **198**: 281—292
- [9] Zhu X M, Xie S Q, Cui Y B. Effect of ration level on growth and energy budget of the gibel carp, *Carassius auratus gibelio* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, **31**: 471—479 [朱晓鸣, 解绥启, 崔奕波. 摄食水平对异育银鲫生长和能量收支的影响. 海洋与湖沼, 2000, **31**: 471—479]
- [10] Wang G, Leng X J, Li X Q, et al. Effect of adding coated amino acid on growth and body composition of allogynogenetic crucian carp [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2006, **15** (3): 365—369 [王冠, 冷向军, 李小勤, 等. 饲料中添加包膜氨基酸对异育银鲫生长和体成分的影响. 上海水产大学学报, 2006, **15** (3): 365—369]
- [11] Leng X J, Lun F, Li X Q, et al. Effects of citric acid on growing performance and nutrients digestibility of allogynogenetic crucian carp [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2006, **15** (2): 178—181 [冷向军, 伦锋, 李小勤, 等. 柠檬酸对异育银鲫生长及营养物质消化率的影响. 上海水产大学学报, 2006, **15** (2): 178—181]
- [12] Pei Z H, Xie S Q, Lei W, et al. Comparative study on the effect of dietary starch content on growth, feed utilization and body composition of Chinese longsnout catfish and gibel carp [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **39** (3): 239—246 [裴之华, 解绥启, 雷武, 等. 长吻鮠和异育银鲫对玉米淀粉利用差异的比较研究. 水生生物学报, 2005, **39** (3): 239—246]
- [13] Tan Q S. Comparative study on dietary carbohydrate utilization by gibel carp and Chinese longsnout catfish. PhD thesis, the Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences Wuhan. 2005 [谭青松. 异育银鲫和长吻鮠对饲料碳水化合物利用的比较研究. 博士学位论文. 中国科学院水生生物研究所. 武汉. 2005]
- [14] Cai C F, Liu Y, Chen L Q, et al. Metabolic responses of allogynogenetic gibel carp after oral administration of different doses of glucose [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, **27** (6): 602—606 [蔡春芳, 刘影, 陈立乔, 等. 异育银鲫口服不同剂量葡萄糖后的代谢反应. 水生生物学报, 2003, **27** (6): 602—606]
- [15] Ince B W, Thorpe A. Effects of insulin and metabolite loading on blood metabolites in the European silver eel (*Anguilla anguilla* L.) [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1974, **23**: 460—471
- [16] Furuichi M, Yone Y. Change of blood sugar and plasma insulin levels in glucose tolerance test [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries Oceanography*, 1981, **47**: 761—764
- [17] Mazur C N, Higgs D A, Plisetskaya E M, et al. Utilization of dietary starch and glucose tolerance in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) of different strains in seawater [J]. *Fish Physiology Biochemistry*, 1992, **10**: 303—313
- [18] Blasco J, Marinon I, Viaplana I, et al. Fate of plasma glucose in tissues of brown trout *in vivo*: effects of fasting and glucose loading [J]. *Fish Physiology Biochemistry*, 1996, **24**: 247—258
- [19] Deng D F, Refstie S, Hung S S O. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral administration of simple and complex carbohydrates [J]. *Aquaculture*, 2001, **199**: 107—117
- [20] Legate N J, Bonen A, Moon T W. Glucose tolerance and peripheral glucose utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), American eel (*Anguilla rostrata*), and black bullhead catfish (*Ameiurus melas*) [J]. *General and Comparative Endocrinology*,

- 2001, **122**: 48—59
- [21] Tan X Y, Luo Z, Liu Y J. Review of carbohydrate utilization in fish feed [J]. *China Feed*, 2007, (6): 19—23 [谭肖英, 罗智, 刘永坚. 鱼类对饲料中糖的利用研究进展. 中国饲料, 2007, (6): 19—23]
- [22] Stone D J, Allan G L, Anderson A J. Carbohydrate utilization by juvenile silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). I uptake and clearance of monosaccharides following intraperitoneal injection [J]. *Aquaculture Research*, 2003, **34**: 97—107
- [23] Peres H, Goncalves P, Oliva-Teles A. Glucose tolerance in gilthead seabream (*Spanus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**: 415—423
- [24] Hamon J S, Eilertson C D, Sheridan M A, *et al* Insulin suppression is associated with hypersomatostatinemia and hyperglucagonemia in glucose-injected rainbow trout [J]. *American Journal of Physiology*, 1991, **261**: 609—613
- [25] Wilson R P. Utilization of carbohydrate by fish [J]. *Aquaculture*, 1994, **124**: 67—80
- [26] Cai C F, Chen L Q, Wu P, *et al* Effects of types and levels of dietary carbohydrate on liver glycogen metabolism of allogynogenetic silver crucian carp [J]. *Fishery Sciences of China*, 2003, **10** (1): 55—59 [蔡春芳, 陈立侨, 吴萍, 等. 饲料糖种类和水平对异育银鲫肝糖原代谢的影响. 中国水产科学, 2003, **10** (1): 55—59]