

草鱼肠道对10种必需氨基酸的跨壁运输量

叶元土¹, 王友慧², 林仕梅², 罗 莉²

(1. 苏州大学 农业科学与技术学院, 江苏 苏州 215006; 2. 西南农业大学水产系, 重庆 400716)

摘要:采用离体灌注实验系统和茚三酮对氨基酸显色的实验方法,对跨过草鱼肠道壁的氨基酸进行定量分析,在相同的实验环境下,分别研究草鱼肠道对10种必需氨基酸的吸收转运量。结果表明,在60 min内草鱼肠道可对灌流的氨基酸进行持续的吸收转运,并在肠道外积累;当肠道内灌流氨基酸浓度逐渐增加时,肠道外只有苏氨酸的浓度与其起始浓度呈正相关变化,其他9种氨基酸在高浓度(10.0 mmol/L)时的吸收转运量均显著下降,表现出高浓度氨基酸对吸收转运的“抑制”效应;通过对吸收转运量达到最大值时实验氨基酸的浓度与吸收转运量的比较,以及在氨基酸吸收转运量随时间的变化规律等的比较分析表明,10种氨基酸在肠道吸收、转运量的变化行为特征有一些共性,也有氨基酸种类特异性。总体表现为,草鱼肠道对苏氨酸、异亮氨酸和亮氨酸等具有很高的吸收转运能力,而对精氨酸、苯丙氨酸、组氨酸等的吸收、转运能力较差。

关键词:必需氨基酸;跨壁吸收;肠道;草鱼

中图分类号:Q959.468;S917

文献标识码:A

文章编号:1005-8737-(2003)04-0311-07

鱼体肠道对食物蛋白质水解产物(包括氨基酸和小肽)的吸收、转运是鱼类营养学研究的重要内容之一。虽然目前有许多研究资料表明,动物肠道除了对蛋白质的最终水解产物—氨基酸进行有效的吸收外,对次级水解产物如二肽、三肽等小肽也能进行有效的吸收和转移,且与氨基酸的吸收、转运存在不同的生理机制和通道。但是,对氨基酸的吸收、转运机制及其影响因素的研究依然还有许多空白点,有很多值得深入、系统研究的领域。作者在对亮氨酸、苯丙氨酸的研究中发现^[1-4],鱼的肠道能够主动地吸收、转运氨基酸,结构相似的氨基酸之间有竞争抑制作用。本项研究利用草鱼肠道离体保存和氨基酸的离体灌注的实验系统和实验方法^[1,3],在相同的实验环境下,研究草鱼肠道对10种必需氨基酸的吸收、转运的数量行为,并对10种必需氨基酸的肠道吸收、转运数量行为进行定量分析和比较研究,以进一步补充和完善鱼类肠道对氨基酸的吸收、转运的基础资料。

收稿日期:2002-06-16; 修订日期:2002-12-20.

基金项目:重庆市科委科技基金项目(97-176).

作者简介:叶元土,(1964-),男,理学硕士,教授,从事水产动物营养与饲料研究. E-mail: yeyuantu@pub.xa.jinfo.net.

1 材料和方法

1.1 试验用鱼

取池塘养殖的1龄草鱼鱼种,平均体重16.2 g (15.1~18.2) g,共205尾。养殖于室内循环养殖系统,水温20~22℃,单缸养殖容积为0.25 m³,每缸养殖25尾,用粗蛋白质质量分数为31%的颗粒配合饲料养殖1月后进行实验,实验前草鱼停食24 h。

1.2 氨基酸

实验用10种氨基酸均为L-氨基酸,为生化试剂。各种浓度的氨基酸均用生理盐溶液进行配制。一般采用先配制高浓度的母液进行短期保存,使用时根据需要进行逐级稀释的方法配制。为防止微生物的干扰,在使用的氨基酸溶液中按照青霉素150 U/mL、硫酸链霉素150 U/mL浓度加入抗生素(简称“双抗”)。实验氨基酸浓度根据预实验结果,在0.5~10.0 mmol/L范围内设置5个浓度梯度:2.0 mmol/L、2.5 mmol/L、5.0 mmol/L、7.5 mmol/L、10.0 mmol/L;精氨酸的浓度梯度为0.5 mmol/L、1.0 mmol/L、2.5 mmol/L、5.0 mmol/L、10.0 mmol/L。

1.3 生理盐溶液

按照叶元士^[1-3]、曾端^[5]等方法进行配制,用于氨基酸培养液的配制和肠道的浸泡、洗涤和培养。

1.4 肠道的制备

参照叶元士^[1-2]、麦康森^[5]等方法,草鱼称重后以捣毁脊髓处死鱼体,常规解剖取出肠道,在生理盐液浸渍下除去脂肪、血污等。

1.5 氨基酸溶液的灌注方法和草鱼肠道的培养方法

按照图1装置,将需要灌流的实验氨基酸溶液(加有“双抗”)盛于D瓶中,通过输液管向离体草鱼肠道内灌注。草鱼肠道(A)置于加有“双抗”(均为150 U/mL)的生理盐培养溶液(B)中,肠道的前端(靠近食道)与灌注氨基酸溶液接通,肠后端与流出液管道(E)连接。肠道培养瓶置于振荡摇床上进行振摇,振摇频率为150次/min。由恒流泵(G)控制实验氨基酸从肠道内流过的流量,实验中氨基酸溶液流出的速度保持在12~15滴/min。在流经肠道的过程中肠道对实验氨基酸进行吸收并跨过肠道壁而进入肠道外的生理盐溶液(培养液)中,并在培养液中积累,肠道培养液(生理盐溶液)体积保持在80 mL,取样后定量补充生理盐溶液。为保持肠道的生理活性,通过氧气瓶和氧气管(C)不断地向培养液中输入氧气。整个装置置于生化培养箱内,通气、光照并控制温度在 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。

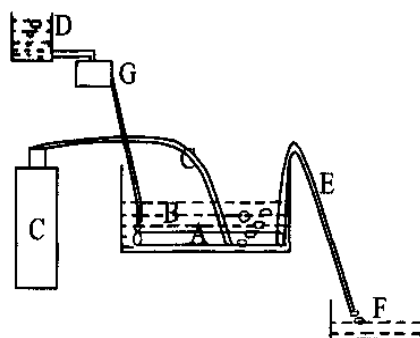


图1 肠道离体灌注实验装置图

Fig. 1 In vitro perfusion apparatus

A: 肠道 Intestine; B: 肠道培养液 In vitro culture solution; C: 氧气瓶 Oxygen; D: 实验灌注液 Initial solution; E: 流出液导管 Flux pipe; F: 流出液 Efflux solution; G: 恒流泵 Pump。

1.6 取样与氨基酸的定量测定

在实验开始后从0~60 min、每间隔10 min取样1次,每次取样0.2 mL $\times$ 3、并补充相应体积的生

理盐溶液以保持总体积不变。氨基酸的定量测定采用茚三酮显色、721型数字分光光度计于570 nm比色测定。由于在预实验时发现不同的氨基酸与茚三酮显色所得的标准曲线有一定的差异,因此,每种待测氨基酸的茚三酮标准曲线由该种氨基酸显色进行制定。计算每种必需氨基酸在肠道外培养液(生理盐溶液)的毫摩尔浓度,以不同时间下被吸收、转运到肠道外培养液中的氨基酸浓度大小和变化规律反映肠道对不同氨基酸的吸收、转运的数量行为的变化。每个实验至少作3次重复,最后结果取其平均值。

2 实验结果

2.1 肠道对10种必需氨基酸的吸收转运量的变化

实验氨基酸浓度在设定范围内,时间在0~60 min范围肠道培养液中,10种必需氨基酸浓度见图2(A~J)。由图2可见:①培养液中的氨基酸浓度的变化,反映了通过肠道吸收进入培养液中氨基酸浓度的变化,即随着时间的推移,培养液中积累的氨基酸的数量逐渐增多,表明肠道对氨基酸的吸收和转运一直在进行,并在肠道外培养液中逐渐积累,并未出现肠道外培养液中氨基酸积累到一定量后的平稳状态或“反馈抑制”现象。②肠道对10种氨基酸的吸收、转运能力有很大的差异,反映在培养液中氨基酸浓度变化的曲线斜率的差异,如精氨酸最低而苏氨酸最高。

对于个别氨基酸的吸收、转运数量行为特征分别见图2。随时间推移赖氨酸在肠道外培养液中浓度呈线性增加,在7.5 mmol/L浓度组出现最大吸收转运量,以10.0 mmol/L组最低;精氨酸在1.0 mmol/L组出现吸收转运量的最大值,是10种必需氨基酸中最低的;组氨酸在40 min以前各浓度组的差异不大,之后在2.5和5.0 mmol/L组的吸收转运量增加较为显著;苯丙氨酸在30 min以前各浓度组的吸收转运量均很低,之后才有显著的增加,这是较其他氨基酸显著不同的;亮氨酸和异亮氨酸为同分异构体,肠道对他们的吸收转运行为有显著差异,对异亮氨酸的吸收转运量明显高于亮氨酸的结果,异亮氨酸吸收转运量受肠道内氨基酸浓度的影响很小(各浓度组间无显著性差异, $P > 0.05$),而亮氨酸的吸收转运则受肠道内氨基酸浓度影响较大,以2.5 mmol/L的量为最大;缬氨酸的吸收转运量受肠道内氨基酸浓度变化有一定影响,以2.5 mmol/L较大;

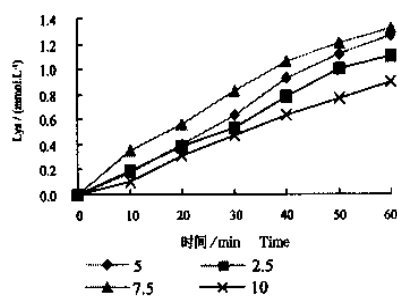


图2-A 培养液中赖氨酸浓度随时间的变化
Fig. 2-A Change of trans-mural flux of Lys with time

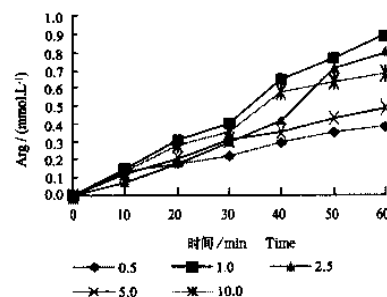


图2-B 培养液中精氨酸浓度随时间的变化
Fig. 2-B Change of trans-mural flux of Arg with time

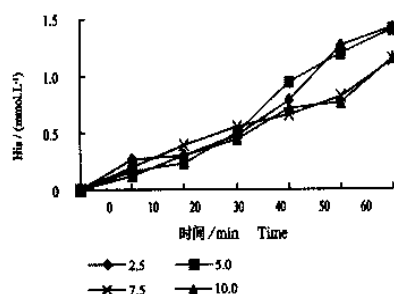


图2-C 培养液中组氨酸浓度随时间的变化
Fig. 2-C Change of trans-mural flux of His with time

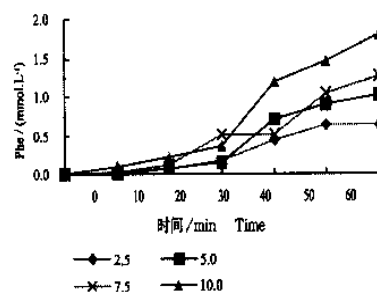


图2-D 培养液中苯丙氨酸浓度随时间的变化
Fig. 2-D Change of trans-mural flux of Phe with time

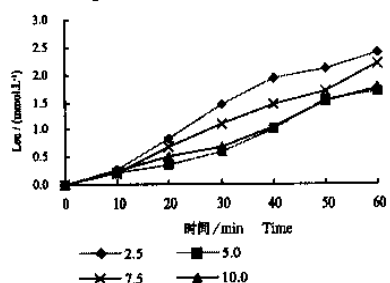


图2-E 培养液中亮氨酸浓度随时间的变化
Fig. 2-E Change of trans-mural flux of Leu with time

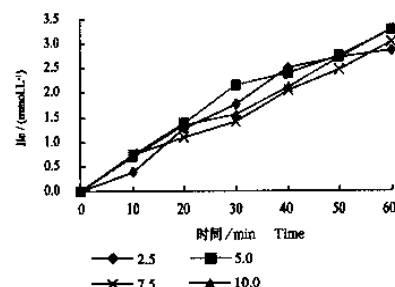


图2-F 培养液中异亮氨酸浓度随时间的变化
Fig. 2-F Change of trans-mural flux of Ile with time

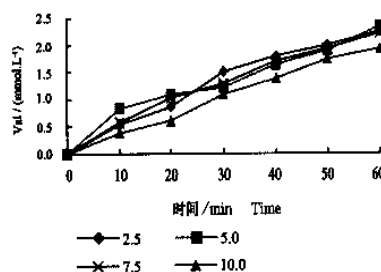


图2-G 培养液中缬氨酸浓度随时间的变化
Fig. 2-G Change of trans-mural flux of Val with time

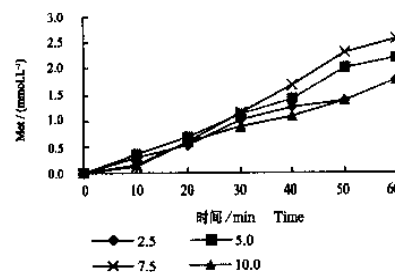


图2-H 培养液中蛋氨酸浓度随时间的变化
Fig. 2-H Change of trans-mural flux of Met with time

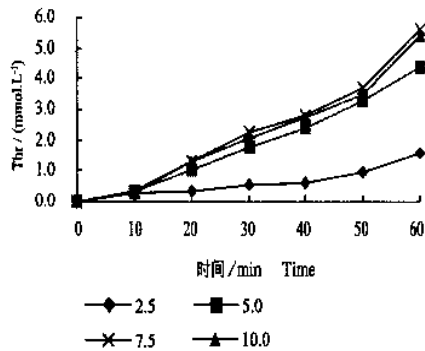


图 2-I 培养液中苏氨酸浓度随时间的变化

Fig. 2-I Change of trans-mural flux of Thr with time

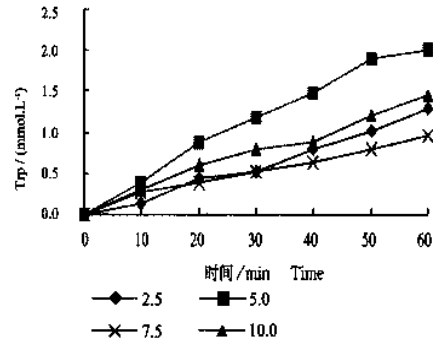


图 2-J 培养液中色氨酸浓度随时间的变化

Fig. 2-J Change of trans-mural flux of Trp with time

蛋氨酸与组氨酸有类似现象,在 40 min 以前各浓度组的吸收转运量无显著差异($P > 0.05$),之后在 5.0 和 10.0 mmol/L 组显著增加;色氨酸 5.0 mmol/L 组的吸收转运量显著高于其他组;苏氨酸的吸收转运量是 10 种氨基酸中最大的,也是唯一的吸收转运量与肠道内氨基酸浓度增加呈正相关关系的氨基酸。

2.2 氨基酸浓度对肠道吸收转运量的影响

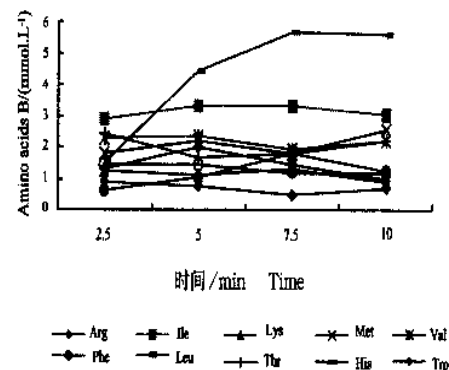
为了比较 10 种必需氨基酸浓度对肠道吸收转运氨基酸量的影响,本实验统计了在 60 min 时各种氨基酸在不同浓度下的肠道外培养液中氨基酸浓度,结果见图 3。在 10 种必需氨基酸中只有苏氨酸的吸收转运量变化与实验氨基酸浓度有正相关关系,其余 9 种氨基酸在 10.0 mmol/L 浓度下肠道外培养液中的氨基酸浓度均低于其他浓度组的值。这一结果显示,肠道内氨基酸浓度增大到一定值后,肠道对氨基酸的吸收转运效率下降,未出现持续平稳或逐步升高的现象,即高浓度氨基酸对肠道吸收后跨壁转运出现“抑制”(苏氨酸例外)现象。由于肠道外培养液中氨基酸浓度变化是肠道粘膜对肠道内实验氨基酸吸收、通过肠道壁转运并在培养液中积累而来的,其间的生理机制和影响因素非常复杂。因此,对于出现高浓度“抑制”现象也难以进行有效的分析,目前只能列举这一结果。

2.3 具有最大吸收转运量时氨基酸浓度和吸收转运量的比较

在不同浓度梯度实验结果中发现,10 种必需氨基酸具有最大吸收转运量时,氨基酸浓度大小有显著差异。同时,在具有最大吸收转运量浓度下的氨基酸吸收转运量的大小也有很大的差异。结果见图 3。10 种必需氨基酸具有最大吸收转运量时,肠道内灌注氨基酸溶液浓度值分别为精氨酸 1.0 mmol/L

、缬氨酸、亮氨酸、组氨酸均为 2.5 mmol/L;异亮氨酸、色氨酸均为 5.0 mmol/L;赖氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸均为 7.5 mmol/L;蛋氨酸为 10.0 mmol/L。以精氨酸的浓度最低、苏氨酸的浓度最高。氨基酸的吸收和转运需要肠道粘膜表面的载体和转运通道,具有最大吸收转运量时肠道内氨基酸浓度的大小应该与这些载体或通道的饱和性、亲和力有关。浓度愈低,表明愈容易达到吸收、转运的饱和状态,反之,则需要较高的氨基酸浓度才达到饱和状态。

以最大吸收转运量时的灌注液氨基酸浓度对 60 min 时肠道培养液中氨基酸浓度作图(见图 4),培养液中 60 min 氨基酸浓度从大到小的顺序依次为:苏氨酸 > 异亮氨酸 > 蛋氨酸 > 亮氨酸 > 缬氨酸 > 色氨酸 > 苯丙氨酸 > 赖氨酸 > 组氨酸 > 精氨酸。这表明 10 种必需氨基酸在达到吸收、转运饱和状态下,肠道对不同氨基酸的吸收、转运的效率有很大的差异。

图 3 氨基酸浓度对吸收转运量的影响($t=60$ min)Fig. 3 Changes of trans-mural flux with initial concentrations of amino acids ($t=60$ min)

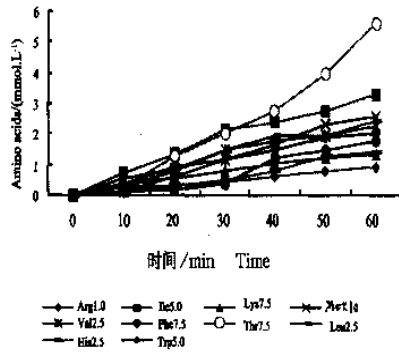


图4 对10种必需氨基酸最大吸收量的比较
Fig. 4 Comparison of trans-mural flux among 10 amino acids

2.4 在相同氨基酸浓度下肠道对10种必需氨基酸吸收转运量的比较

在低浓度(2.5 mmol/L)下肠道对10种必需氨基酸吸收转运量大小表现为异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸3种氨基酸为最大的一组,蛋氨酸、苏氨酸、色氨酸、赖氨酸、组氨酸5种氨基酸在中等大小的一组内,而苯丙氨酸和精氨酸2种氨基酸在最小的一组内(图5-A)。

在中等浓度(5.0 mmol/L)下肠道对10种必需氨基酸吸收转运量大小表现为苏氨酸和异亮氨酸2种氨基酸为最大的一组,缬氨酸、色氨酸、蛋氨酸、赖氨酸3种氨基酸在中等大小的一组内,而组氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和精氨酸5种氨基酸在最小的一组内(图5-B)。

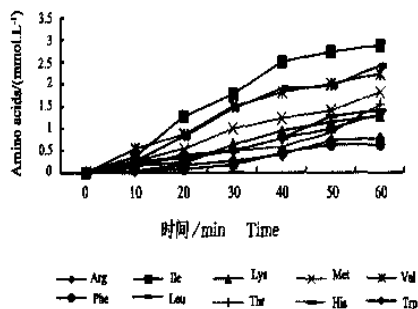


图5-A 2.5 mmol/L 浓度组肠道对10种必需氨基酸吸收转运量的比较
Fig. 5-A Comparison of trans-mural flux among 10 amino acids at 2.5 mmol/L

在高浓度(10.0 mmol/L)下肠道对10种必需

氨基酸吸收转运量大小表现为苏氨酸为最大的一组,异亮氨酸、蛋氨酸、缬氨酸、亮氨酸、4种氨基酸在中等大小的一组内,而色氨酸、赖氨酸、组氨酸、苯丙氨酸和精氨酸5种氨基酸在最小的一组内(图5-C)。

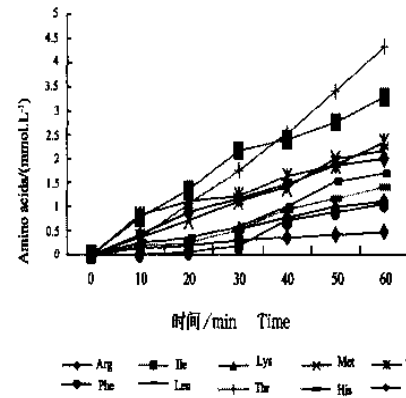


图5-B 5 mmol/L 浓度组肠道对10种必需氨基酸吸收转运量的比较
Fig. 5-B Comparison of trans-mural flux among 10 amino acids at 5 mmol/L

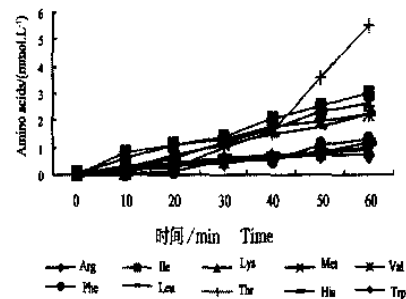


图5-C 10 mmol/L 浓度组肠道对10种必需氨基酸吸收转运量的比较
Fig. 5-C Comparison of trans-mural flux among 10 amino acids at 10 mmol/L

总体看,在相同实验氨基酸浓度下,肠道对苏氨酸、异亮氨酸和亮氨酸表现出了较大的吸收转运量,而精氨酸、苯丙氨酸、组氨酸的吸收转运量较低。

3 讨论

3.1 肠道对氨基酸吸收、跨壁运输的过程分析

肠道对食物中氨基酸(包括小肽)的吸收是通过肠粘膜细胞来进行的。通过肠粘膜细胞的纹状缘(或微绒毛)对食物中氨基酸主动吸收而进入粘膜

细胞内,再通过粘膜底层的毛细血管而进入血液系统。本实验中肠道培养液中的氨基酸应该是灌注液中氨基酸经肠道粘膜细胞的吸收而进入血管运输、肠道组织内积累和迁移、最终越过肠道壁而进入肠道培养液的氨基酸,这部分氨基酸在活体内应该是通过肠粘膜的吸收、在肠道组织内积累、迁移并离开肠道组织而进入血液循环系统运输(只是从肠道组织向其他组织单向运输而不包括从其他组织运输来)的氨基酸。这些被吸收并越过肠道壁的过程和机制是较为复杂的(至少包括吸收、积累、迁移和运输等几个行为过程),其影响因素也应该是非常多的。本实验将肠道壁作为一道屏障,暂且忽略其内部的氨基酸吸收、迁移途径和机制,采用较为简单的实验方法,在相同的实验环境条件下比较研究10种必需氨基酸通过肠道粘膜细胞的吸收并越过肠道壁的数量行为,在方法上是可行的,其结果对于从营养学角度上分析鱼体对10种必需氨基酸的吸收、转运并进行相互的比较研究是有效的,本实验系统在过去的研究中^[1-4]也采用过,证明是有效的。

3.2 草鱼肠道对10种必需氨基酸的跨壁运输分析

在本项实验中,在相同的实验环境条件下,本实验得到了草鱼肠道对10种必需氨基酸吸收和跨壁运输的数量行为变化规律,主要包括以下几个方面。

①10种必需氨基酸被肠道吸收、转运的数量变化特征具有各自的特异性。主要体现在氨基酸浓度对吸收、转运量的影响程度和具有最大吸收、转运量时的氨基酸浓度值的大小,培养液中积累的氨基酸的数量随时间的变化行为,在相同氨基酸浓度下不同的氨基酸具有不同的吸收、转运量等几个方面。这是10种必需氨基酸在肠道吸收、转运过程中具有各自特异性的证据之一,本实验结果显示草鱼肠道对苏氨酸、异亮氨酸和亮氨酸的吸收、转运能力较强,而对精氨酸、苯丙氨酸和组氨酸的吸收、转运能力较弱。

②肠道对10种必需氨基酸吸收、转运达到最大量时氨基酸浓度有较大的差异。在本实验中无法了解和分析氨基酸被肠道吸收、转运的生理机制以及肠道培养液中积累的氨基酸对吸收、转运可能产生的反馈调节机制,但是,通过对肠道培养液中积累的氨基酸达到最大浓度时肠腔内实验氨基酸浓度大小

的分析,可以反映出实验氨基酸在吸收、转运时达到饱和状态的难易程度和在饱和状态下的吸收、转运效率的大小。肠道内精氨酸在1.0 mmol/L时就达到了最大吸收积累氨基酸浓度,而这时肠道培养液中的精氨酸浓度也是最低的,表明草鱼肠道内精氨酸在低浓度时就容易使肠道的吸收、转运系统达到饱和状态。按照类似的分析,蛋氨酸是最不容易达到吸收、转运饱和状态的,其次是苏氨酸、赖氨酸和苯丙氨酸,之后为异亮氨酸、色氨酸,再后为亮氨酸、组氨酸和缬氨酸。但是,在达到吸收、转运饱和状态下肠道对实验氨基酸的吸收、转运量也是有很大差异的,这也反映了在饱和状态下肠道对不同氨基酸的吸收、转运能力的差异。在此状态下,以对苏氨酸和异亮氨酸的量最大,其次为蛋氨酸、亮氨酸、缬氨酸和色氨酸,再次为苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸,以精氨酸为最低。

③在相同氨基酸浓度下不同氨基酸吸收、转运量大小的比较分析。在2.5 mmol/L、5.0 mmol/L和10.0 mmol/L 3个低、中、高浓度等级下,草鱼肠道对10种必需氨基酸的吸收转运量的大小表现为一方面在同一浓度下10种氨基酸的吸收、转运数量有一定的差异,可以得到数量大小的顺序排列;但是,另一方面,这种排列顺序在3个浓度级别中又不完全一致。出现这种现象的原因应该是不同的氨基酸在肠道吸收、转运达到饱和时氨基酸浓度差异所致,也应该是不同氨基酸在吸收、转运过程中具有特异性的一个方面。

参考文献:

- [1] 叶元土,林仕梅,罗莉,等.草鱼肠道对亮氨酸和苯丙氨酸的吸收[J].动物学报,2000,46(1):52-57.
- [2] 叶元土,林仕梅,罗莉,等.南方大口鲶胃肠道对L-亮氨酸和L-苯丙氨酸吸收动力学研究[A].中国水产学会2000年学术年论文集[C].北京:海洋出版社,2000.562-580.
- [3] 叶元土,罗莉,林仕梅,等.斑点叉尾鲷胃肠道对亮氨酸的吸收[J].水产学报,1999,23(增刊):46-50.
- [4] 麦康森,李爱杰,尹左芬.中国对虾中肠对氨基酸运输的动力学研究[J].海洋与湖沼,1987,18(5):426-431.
- [5] 曾端,叶元土,林仕梅,等.草鱼肠道对AA吸收的离体培养方法的研究[J].中国水产科学,2001,(4):18-22.

Transmural fluxes of ten essential amino acids in intestinal gut of *Ctenopharyngodon idellus* in vitro

YE Yuan-tu, WANG You-hui, LIN Shi-mei, LUO Li

(1. Suzhou University, Suzhou 2150061, China; 2. Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

Abstract: The fingerling *Ctenopharyngodon idellus* were employed and after 24 h starvation the intestine gut was obtained and cultured in vitro. The ten essential amino acids used in this study were all L - amino acids and the concentration levels were designed at 2.0, 2.5, 5.0, 7.5 and 10 mmol/L, but for Arg, the levels were at 0.5, 1.0, 2.5, 5.0 and 10.0 mmol/L. In each solution, the penicillin and sulfate streptomycin were added in, both at 150 U/mL. The amino acid solution was controlled flowing through the intestine gut at 12 - 15 drops/min. The concentrations of the ten amino acids in the exudation outside the intestine gut mural was analyses within 60 min and the results showed that the intestine gut absorbed and transferred the amino acids inside the gut continuously and accumulated the amino acids progressively outside the gut during the 60 min. The amino acid concentration in the exudation outside reaching the highest value appeared in the designed levels of 1.0 mmol/L for Arg, 2.5 mmol/L for Val, Leu and His, 5.0 mmol/L for Ile and Trp, 7.5 mmol/L for Lys, Phe and Thr, and 10.0 mmol/L for Met, respectively. All those indicate that the intestine gut of *C. idellus* has high ability in absorbing and transporting Thr, Ile and Leu, but low ability in Arg, Phe and His, ect.

Key words: essential amino acids; transmural fluxes; intestine; *Ctenopharyngodon idellus*

欢迎订阅《海洋科学》欢迎广告惠顾

《海洋科学》是由中国科学院海洋研究所主办、科学出版社出版的学术性和技术性期刊,中国自然科学核心期刊、华东地区优秀期刊、山东省优秀期刊。本刊以密切联系生产实际、服务于我国现代化建设为宗旨,及时、快速报道海洋学及其分支学科的新成果、新理论、新观点、新工艺及新进展等,对重大科研和应用性研究成果特别予以优先报道。主要刊载内容有:海洋生物、海洋水产生、海洋活性物质提取、海洋环境保护、海洋物理、物理海洋、海洋地质、海洋化学、海洋工程、海洋仪器研制等方面的学术论文、研究报告、研究简报、专题综述、学术讨论和争鸣、学术动态以及新产品介绍(有偿刊登)等文章。

据中国科技信息研究所最新统计,《海洋科学》影响因子为0.385,在同类科技期刊中名列前茅。

本刊为月刊,每月9日出版,16开本80页,每期定价15元,全年订价180.00元。本刊国内外公开发行(国际刊号:ISSN1000-3096);国内刊号:CN37-1151/P;国内邮发代号:2-655;国外发行代号:BM6666)。全国各地邮局均可订阅。欢迎各科研机构、高等院校、生产厂家和从事该领域的科技人员踊跃订阅。邮局订阅不便者可直接向本刊编辑部订购。

本刊发行量在同类期刊中一直名列前茅,订户遍及全国20多个省、市、自治区,影响面广,宣传力大,欢迎广大广告客户在本刊刊登广告,价格优惠。

《海洋科学》编辑部地址:青岛南海路7号,266071;电话及传真:(0532)2898755;E-mail:MSJ@ms.qdio.ac.cn