

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200115002

http://www.yykxjz.cn/

徐娟娟, 王卓群, 舒秀君, 程波, 任源远, 张欣, 王赛赛, 韩刚, 穆迎春, 宋恠. 吉富罗非鱼成鱼脏器系数的研究. 渔业科学进展, 2021, 42(4): 90-97

XU J J, WANG Z Q, SHU X J, CHENG B, REN Y Y, ZHANG X, WANG S S, HAN G, MU Y C, SONG Y. Inverstation of organ coefficients of adult GIFT Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(4): 90-97

吉富罗非鱼成鱼脏器系数的研究*

徐娟娟^{1,3} 王卓群^{2,3} 舒秀君^{2,3} 程波^{3①} 任源远³
张欣⁴ 王赛赛⁴ 韩刚³ 穆迎春³ 宋恠³

(1. 上海海洋大学食品学院 上海 201306; 2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306;
3. 中国水产科学研究院质量与标准研究中心 农业农村部水产品质量安全控制重点实验室 北京 100141;
4. 北京市水产科学研究所 北京 100068)

摘要 为研究罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)组织脏器重量与体重的关系, 获得脏器系数。本研究随机选取 40 尾体重为 600~900 g 雄性吉富罗非鱼(GIFT)成鱼, 进行体重、心脏、肝脏、肾脏、脾脏、肠、鳃、皮肤、胆囊、鳞片、肌肉及其他组织(鱼头、鱼鳍和鱼骨等)重量的测定, 对体重与各组织脏器重量进行相关性分析, 建立最优回归模型, 并采用体重约为 500 g 雄性吉富罗非鱼对各组织脏器重量进行模型外推验证。结果显示, 雄性吉富罗非鱼成鱼心脏、肝脏、肾脏、脾脏、肠、鳃、皮肤、胆囊、鳞片、肌肉和其他组织(鱼头、鱼鳍和鱼骨等)的脏器系数(%)分别为 0.12 ± 0.02 、 1.22 ± 0.20 、 0.11 ± 0.03 、 0.13 ± 0.05 、 1.58 ± 0.30 、 2.85 ± 0.17 、 3.31 ± 0.38 、 1.05 ± 0.24 、 2.89 ± 0.41 、 51.60 ± 2.09 和 29.66 ± 2.00 , 所有测定 11 个组织脏器重量与体重均呈显著正相关($P<0.001$), 符合一元线性回归模型($y=bx$), 所建立模型对体重为 500 g 雄性吉富罗非鱼心脏、肝脏、肾脏、脾脏、皮肤和肌肉重量预测误差均在 8% 以内。研究结果填补了罗非鱼脏器系数的空白, 并为鱼类生理学、毒理学及构建鱼类生理药代动力学(physiologically based pharmacokinetics, PBPK)模型提供了基础数据。

关键词 吉富罗非鱼; 体重; 脏器系数; 相关性分析; 回归模型

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)04-0090-08

脏器系数是动物某组织器官的重量与其体重的比值, 它是直接描述动物体征的主要解剖数据群之一(赵丽丽等, 2018)。脏器系数是一个物种生物学标准化的依据, 是动物的基本生物学特征, 与动物的生理代谢过程密切相关。因其能反映动物的生理功能状态, 目前已成为动物生理学和毒理学研究常用的基础数据和重要评价指标(练有文等, 2006)。在动物毒理

学研究中, 脏器系数通常作为一种常用的生理指标, 通过受损脏器重量发生的变化, 反应化学物质的毒性大小和效应(赵丽丽等, 2018)。在新药临床毒理学研究、药品安全性评价和药效学实验中, 脏器系数是评价受试物毒性作用的重要指标, 对确认药物毒性作用的靶器官具有重要参考价值(董延生等, 2012; Nord, 1993)。在水产品质量安全研究中, 脏器系数是

* 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2019ZD0904)、财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系共同资助 [This work was supported by Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2019ZD0904), and China Agriculture Research System of MOF and MARA]. 徐娟娟, E-mail: 1418646441@qq.com

① 通讯作者: 程波, 副研究员, E-mail: chengb@cafs.ac.cn

收稿日期: 2020-01-15, 收修改稿日期: 2020-03-19

构建鱼类生理药代动力学(physiologically based pharmacokinetics, PBPK)模型最直接、最基础的数据(程波等, 2017)。

近年来,测定实验动物脏器重量和脏器系数的研究较多,但主要针对畜禽类和实验用小鼠等动物,涉及品种包括猪(角建林等, 2013; 闵凡贵等, 2009)、羊(钱成等, 2015)、鸡(赵丽丽等, 2018)、犬(黄玲等, 2000)、小鼠(刘科等, 2018)和驴(肖海霞等, 2014)等。对于水产养殖动物,多见于尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)出肉率与体长、体高等可量性状(董在杰等, 2010)、瓯江彩鲤(*Cyprinus carpio var. color*)形态性状与体重相关性(陈红林等, 2019)、翘嘴鲌(*Siniperca chuatsi*)形态性状与体重和性别关系(董浚键等, 2018)、刺参(*Apostichopus japonicas*)体重与疣足数量关系等类似研究(Zhan *et al.*, 2019)。鱼类脏器重量和脏器系数最早可追溯至60年前,美国学者Robinson等(1960)和Wilber等(1967)分别对鳙鱼(*Opsanus tau*)和河豚鱼(*Sphaeroides maculatus*)有过研究; Law等(1991)研究虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*)药物代谢残留模型中,对其部分脏器系数进行了报道。时至今日,鲜有其他相关报道和研究。

罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)是联合国粮食及农业组织(FAO)向世界推广的主要养殖品种之一,在解决全球食品蛋白质来源方面发挥着重要作用。同时,罗非鱼也是我国最主要的养殖品种之一。2018年我国罗非鱼养殖产量约为162.45万t,稳居淡水鱼产量第6位(农业农村部渔业渔政管理局, 2019)。因此,本研究以吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)为研究对象,围绕构建鱼类生理药代动力学PBPK模型迫切的数据需求,开展雄性吉富罗非鱼成鱼体重和各组织脏器重量的解剖与测量,研究其组织脏器重量与体重的关系,以期建立鱼类组织脏器解剖与测量技术提供方法参考,为鱼类生理学和药物代谢残留预测研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼

实验所用雄性吉富罗非鱼为北京市水产研究所小汤山良种繁育基地养殖2年的成鱼。其中,体重为600~900g的鱼体用于组织脏器测量,500g左右鱼体用于回归模型预测功能的验证。实验前,将吉富罗非鱼于4个缸体(1.5 m×1.5 m×1.0 m)的循环水养殖系统中暂养7d,自然光照,24h不间断充气,每2d更换1/3水体。暂养期间,正常投饵,观察其摄食情况

和鱼体表面,去除不正常摄食和表面有损伤、病灶鱼体。实验前2d不投饵,使其肠胃内的食糜、粪便排空,实验时分别随机选取40尾(600~900g)和3尾(500g左右)雄性吉富罗非鱼作为实验对象。

1.2 药品、仪器和工具

肝素钠(H8060, ≥99.0%), MS-222麻醉剂,分析天平(精确度为0.0001g),电子天平(精确度为0.01g),电热锅,手术剪、手术刀、镊子等常规手术器械。

1.3 实验方法

组织脏器解剖方法参照《鱼类比较解剖》的方法(孟庆闻等, 1987)优化完善后进行。吉富罗非鱼采用MS-222麻醉剂麻醉,吸水纸吸除鱼体表面水分,称重并记录数据后,断尾放血。本研究11个组织和脏器采集顺序为鳞片、鳃、胆囊、肝脏、脾脏、肠、心脏、肾脏、皮肤、肌肉和其他组织(鱼头、鱼鳍和鱼骨等)。

1.3.1 鳞片 经对比直接测量(测量采集鳞片重量)和间接测量(测定鱼体剔除鳞片前后重量之差)误差,选取间接测量方法测定鳞片重量,避免去除鳞片过程中水分蒸发,以减少湿重误差。

1.3.2 鳃 随后立即取鳃。健康罗非鱼的鳃为鲜红色,由鳃丝、鳃弓和鳃耙组成,一侧4片,本研究以获取4片鳃片且连接不断开为操作标准。

1.3.3 腹腔 从食道处剪断食道和系膜与内脏的连接组织,摘取完整的腹腔内脏,分离胆囊、肝脏、肠、脾脏,并剖开肠后,采用吸水纸吸去水分,腹腔内脂肪归为其他组织。

1.3.4 心脏 先用镊子夹紧固定心脏,再使用剪刀剪取心脏,罗非鱼心脏由红色的心房、心室和白色的动脉球组成,完整采集。

1.3.5 肾脏 剖取肾脏时,先用手术剪剪开鱼体腹腔与脊椎的隔层,用镊子沿两侧划开结缔组织,并剔除结缔组织,从后端夹住肾脏并轻向前拉,需注意力度避免破损,再取皮肤并称量。

1.3.6 肌肉 对于肌肉,分两步进行重量测算。先进行两侧鱼片状肌肉摘取,鱼片状肌肉重量记为 G_1 。剩余肌肉通过包含肌肉的骨骼组织前后重量差进行间接测算,具体为将摘取鱼片后的剩余鱼体分离为头部、鱼鳍(背鳍、胸鳍、腹鳍、尾鳍)和肌肉骨骼混合组织3个部分,肌肉骨骼混合组织称重(重量记为 G_2)后,使用电热锅将其在开水中煮制2min后剔去肌肉,鱼骨称重(重量记为 G_3),肌肉重量= $G_1 + (G_2 - G_3)$ 。

1.3.7 其他组织 其他组织为头部、鱼鳍、煮制后

鱼骨、腹腔内脂肪和剔下的结缔组织等。所有选定实验鱼均按照上述操作步骤解剖,进行组织脏器分离后称重,其中,鳃、肝脏、肠、胆囊、脾脏、心脏和肾脏采用分析天平称重,鱼体重及其余组织使用电子天平称重。所有解剖和组织脏器分离均为同一人员操作,减少系统误差。脏器系数=脏器重量/体重 \times 100%。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 软件计算实测值的平均值 \pm 标准差(Mean \pm SE)和脏器系数;用 R 语言(3.5.1 版本)分析各组织脏器重量和体重之间的回归关系和相

关系数,并建立回归模型,使用 3 尾体重约为 500 g 雄性吉富罗非鱼组织脏器重量进行模型预测功能的验证。

2 结果与分析

2.1 解剖操作回收率

本研究所用 40 尾鱼体重分布及解剖损失重量见图 1。从图 1 可以看出,实验用鱼平均体重为(744.35 \pm 66.98) g,解剖后平均体重为(710.00 \pm 70.05) g,解剖损失率在 1.89%~5.37%之间,解剖损失较小。

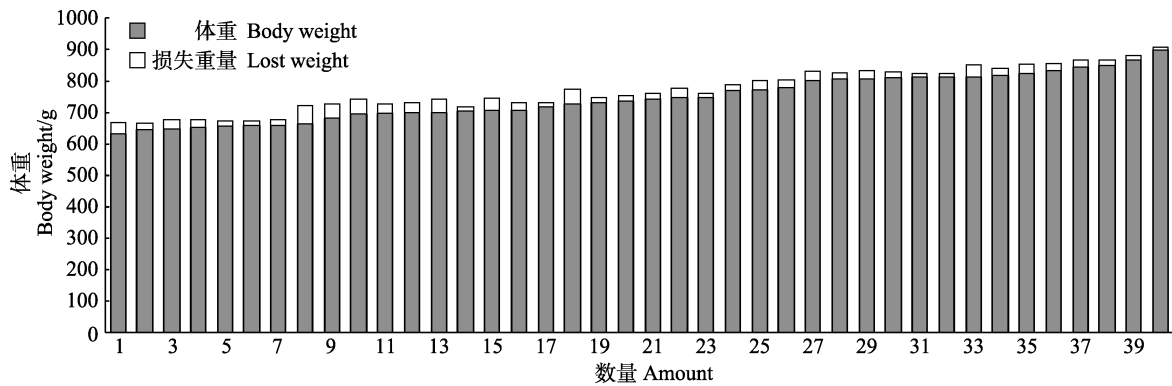


图 1 吉富罗非鱼体重与解剖后损失重量

Fig.1 Weight of GIFT Tilapia and weight loss after being dissected

2.2 各组织脏器重量及脏器系数

吉富罗非鱼各组织脏器的平均重量及脏器系数见表 1。从表 1 可以看出,心脏、肾脏和脾脏 3 种脏器重量相对最轻,在(0.84 \pm 0.26)~(0.96 \pm 0.44) g 之

表 1 吉富罗非鱼体重和组织脏器质量及脏器系数统计结果(n=40)

Tab.1 Statistical results of body weight, organ and tissue weight, and organ coefficient of GIFT Tilapia (n=40)

项目 Items	重量 Weight/g	脏器系数 Organ coefficient /%
心脏 Heart	0.86 \pm 0.17	0.12 \pm 0.02
肝脏 Liver	8.99 \pm 1.84	1.22 \pm 0.21
肾脏 Kidney	0.84 \pm 0.26	0.11 \pm 0.03
脾脏 Spleen	0.96 \pm 0.44	0.13 \pm 0.05
肠 Intestine	11.71 \pm 2.81	1.58 \pm 0.30
鳃 Gill	21.02 \pm 2.29	2.85 \pm 0.17
皮肤 Skin	25.53 \pm 4.29	3.31 \pm 0.38
胆囊 Gallbladder	7.66 \pm 1.62	1.05 \pm 0.24
鳞片 Scales	21.42 \pm 4.14	2.89 \pm 0.41
肌肉 Muscle	380.51 \pm 43.50	51.60 \pm 2.09
其他组织 Carcass	217.84 \pm 19.03	29.66 \pm 2.00

间;肝脏、肠、鳃、皮肤、胆囊、鳞片重量居中,为(7.66 \pm 1.62)~(25.53 \pm 4.29) g;肌肉为(380.51 \pm 43.50) g,所占比例最大,为(51.60 \pm 2.09)%。

2.3 体重和各组织脏器重量之间的相关性分析

应用 R 语言中的线性回归(函数 1 m)分析方法,进行体重和各组织脏器重量间的相关性分析。采用回归模型 $y=bx+a$ 的分析结果见表 2,采用回归模型 $y=bx$ 的分析结果见表 3 和图 2。2 种回归模型中,吉富罗非鱼 11 个组织脏器重量与体重之间均差异极显著($P<0.001$),即体重对所测 11 个组织脏器重量均有极显著影响。对于回归模型 $y=bx+a$,相关系数 R^2 仅肌肉达到 0.9,其他各组织脏器多在 0.5 左右,且胆囊的相关系数甚至仅为 0.000 3。对于回归模型 $y=bx$,相关系数 $R^2>0.89$,且肌肉的相关系数高达 0.998,拟合程度更好。从回归系数 b 值(即脏器系数)来看,回归模型 $y=bx$ 分析得到的 b 值几乎与实测脏器系数相等(表 1),而以回归模型 $y=bx+a$ 分析得到的 b 值与实测脏器系数相比偏离较大。综上所述,体重和 11 个组织脏器重量之间的相关性应采用一元线性回归模型 $y=bx$ 。

表 2 吉富罗非鱼体重和组织脏器重量一元线性回归(有截距)结果

Tab.2 Simple linear regression (with intercept) results of body weight and tissue and organ weight of GIFT Tilapia

项目 Items	脏器系数 Organ coefficients/%	回归常数 Regression constant	回归方程 Regression equation	相关系数 R^2 Correlation coefficient	P 值 P value
心脏 Heart	0.20	-0.615	$y=0.002\ 0x-0.615$	0.632 0	<0.001
肝脏 Liver	1.51	-2.160	$y=0.015\ 1x-2.160$	0.305 0	<0.001
肾脏 Kidney	0.25	-0.982	$y=0.002\ 5x-0.982$	0.405 0	<0.001
脾脏 Spleen	0.47	-2.491	$y=0.004\ 7x-2.491$	0.509 0	<0.001
肠 Intestine	2.89	-9.593	$y=0.028\ 9x-9.593$	0.476 0	<0.001
鳃 Gill	2.89	-0.277	$y=0.028\ 9x-0.277$	0.717 0	<0.001
皮肤 Skin	5.34	-14.758	$y=0.053\ 4x-14.758$	0.693 0	<0.001
胆囊 Gallbladder	-0.04	7.960	$y=-0.000\ 4x+7.960$	0.000 3	0.914
鳞片 Scales	4.74	-13.503	$y=0.047\ 4x-13.503$	0.590 0	<0.001
肌肉 Muscle	61.53	-72.523	$y=0.615\ 3x-72.523$	0.900 0	<0.001
其他组织 Carcass	20.81	64.660	$y=0.208\ 1x+64.660$	0.536 0	<0.001

表 3 吉富罗非鱼体重和组织脏器重量一元线性回归(无截距)结果

Tab.3 Simple linear regression (without intercept) results of body weight and tissue and organ weight of GIFT Tilapia

项目 Items	脏器系数 Organ coefficients/%	回归方程 Regression equation	相关系数 R^2 Correlation coefficient	P 值 P value
心脏 Heart	0.12	$y=0.001\ 2x$	0.991	<0.001
肝脏 Liver	1.21	$y=0.012\ 1x$	0.977	<0.001
肾脏 Kidney	0.11	$y=0.001\ 1x$	0.946	<0.001
脾脏 Spleen	0.13	$y=0.001\ 3x$	0.889	<0.001
肠 Intestine	1.61	$y=0.016\ 1x$	0.974	<0.001
鳃 Gill	2.86	$y=0.028\ 6x$	0.997	<0.001
皮肤 Skin	3.33	$y=0.033\ 3x$	0.990	<0.001
胆囊 Gallbladder	1.01	$y=0.010\ 1x$	0.965	<0.001
鳞片 Scales	3.00	$y=0.030\ 0x$	0.991	<0.001
肌肉 Muscle	51.93	$y=0.519\ 3x$	0.998	<0.001
其他组织 Carcass	29.55	$y=0.295\ 5x$	0.996	<0.001

2.4 回归模型预测结果验证

利用所建立的回归模型 $y=bx$ 对 3 尾雄性吉富罗非鱼[平均体重为(512.48±3.68) g]各组织脏器重量进行预测, 样本组织脏器实测值、预测值及预测值上、下限数据见表 4。从表 4 可以看出, 雄性吉富罗非鱼肝脏、肾脏和脾脏 3 种脏器重量预测值与实测值之间误差均在 4% 以内, 非常准确; 皮肤、肌肉和心脏 3 种组织脏器误差均在 6%~8%, 预测较为准确; 肠、鳞片和胆囊 3 种组织脏器误差均在 20% 左右, 误差较大。

3 讨论

3.1 解剖方法的可靠性

脏器系数的测定涉及鱼类解剖操作, 因鱼类相对畜禽等动物而言, 个体较小, 具有鳞片, 且罗非鱼肾

脏属于弥散性状态等生理结构特征, 导致组织脏器的解剖和分离存在一定困难, 易产生误差。目前, 在水产基础科学中, 《水产动物组织胚胎学实验》(任素莲等, 2009)、《鱼类比较解剖》(孟庆闻等, 1987)、《鱼类学教程》(李承林, 2004)等专业教材虽对鱼类组织脏器进行了较为详细阐述, 但并无鱼类脏器解剖和测定的操作技术规范, 这增加了实验操作误差的不确定性。本研究在上述教材的基础上, 经过反复操作和方法比较, 确定不同组织脏器取样顺序和肌肉测定方法等, 所测解剖后组织脏器回收率在 94.63%~98.11% 之间, 解剖损失较小, 组织脏器测定较为准确, 该解剖方法和步骤具有一定参考和实用价值。

3.2 吉富罗非鱼成鱼体重和各组织脏器重量之间的线性回归模型

研究表明, 吉富罗非鱼成鱼各组织脏器重量与

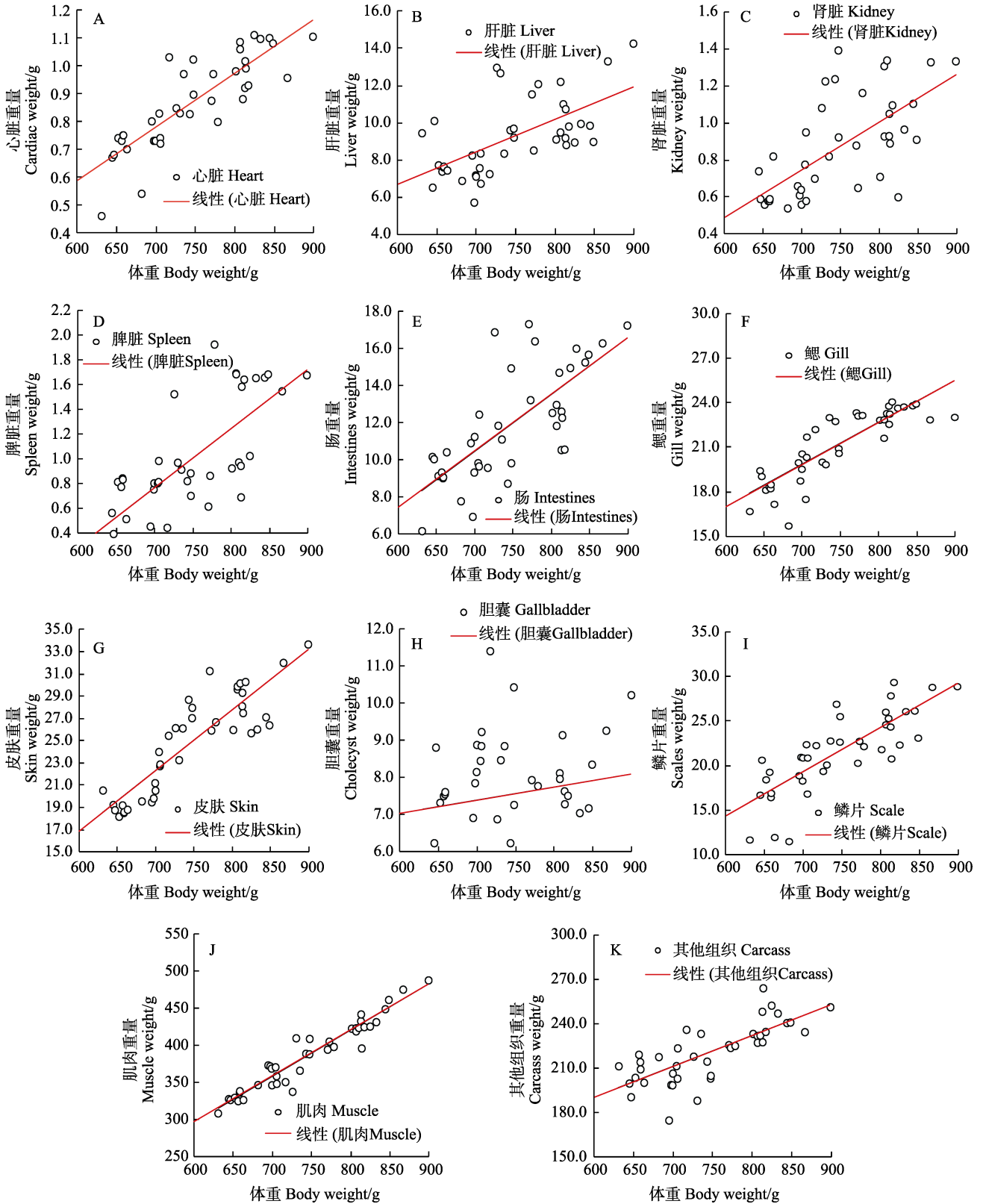


图2 吉富罗非鱼体重与各组织脏器重量的相关性

Fig.2 Correlation between body weight and tissue and organ weight of GIFT Tilapia

A~K 依次为体重与心脏、肝脏、肾脏、脾脏、肠、鳃、皮肤、胆囊、鳞片、肌肉和其他组织重量的相关性

A~K are the correlation between body weight and weights of heart, liver, kidney, spleen, intestine, gill, skin, gallbladder, scales, muscle and carcass

表 4 实测值与回归模型预测结果
Tab.4 Measured values and prediction results of regression models

项目 Items	实测值 Measured value	预测值 Predicted value	误差值绝对值 Absolute value of error	误差百分比 Error percentage/%	下限值 Lower limit value	上限值 Upper limit value
心脏 Heart	0.65	0.60	0.05	7.66	0.37	0.84
肝脏 Liver	6.04	6.28	0.23	3.84	3.15	9.40
肾脏 Kidney	0.57	0.59	0.02	3.51	0.15	1.04
脾脏 Spleen	0.70	0.68	0.02	2.84	0.09	1.46
肠 Intestine	6.86	8.21	1.35	19.61	3.73	12.69
鳃 Gill	17.71	14.64	3.07	17.31	12.17	17.11
皮肤 Skin	16.16	17.17	1.01	6.23	11.64	22.70
胆囊 Gallbladder	7.45	5.29	2.16	28.94	1.70	8.89
鳞片 Scales	18.82	15.00	3.82	20.31	9.09	20.91
肌肉 Muscle	247.89	265.45	17.57	7.09	234.29	296.61
其他组织 Carcass	166.16	151.38	14.79	8.90	122.56	180.20

体重之间属于线性回归关系,即组织脏器重量随动物的生长而增加,这与蟾鱼(Robinson *et al*, 1960)、河豚鱼(Wilber *et al*, 1967)和其他畜禽动物(角建林等, 2013; 闵凡贵等, 2009; 钱成等, 2015; 赵丽丽等, 2018; 黄玲等, 2000; 刘科等, 2018; 肖海霞等, 2014)研究结果相一致。但上述研究均提及组织脏器与体重之间属于具有回归常数的一元线性回归模型($y=bx+a$)。本研究结果表明,无回归常数的一元线性回归模型($y=bx$)拟合更符合吉富罗非鱼,即当鱼体重(自变量)为 0 时,其他组织脏器重量(因变量)也应为 0。另一方面,用一元线性回归模型($y=bx$)分析得出的各组织脏器回归方程系数 b 值,几乎等于实测脏器系数值,说明所建回归模型,在体重为 600~900 g 的雄性吉富罗非鱼上准确性较高。利用该模型对 500 g 左右的雄性吉富罗非鱼各组织脏器进行预测,主要脏器的预测结果与实测值接近,可见模型对于一定规格范围内罗非鱼鱼体,也具有较好的预测准确性。相比较而言,心脏、肝脏、肾脏、脾脏、皮肤、肌肉和其他组织预测误差相对较小,误差在 10%以内,但肠、鳃、胆囊和鳞片的预测误差相对较大。一方面说明所构建回归模型预测功能对雄性吉富罗非鱼成鱼具有组织适用性;另一方面,也表明水产动物同其他陆生动物一样,组织脏器可能受动物品系、性别、年龄、饲养条件等因素的影响而存在其他科学规律(孙建新等, 2009),这有待进一步研究。

3.3 吉富罗非鱼成鱼脏器系数

目前,有关鱼类脏器系数仅见淡水鱼心脏系数的研究。本研究中,雄性成年吉富罗非鱼心脏系数为 0.12,与 Wilber 等(1961)所研究的 8 种淡水鱼系数结

果相一致。按照 Bertin (1958)心脏系数在 0.11 左右即为超级游泳性(superior swimmers)鱼类的理论,结合罗非鱼善于游泳的情况,也间接表明本研究中吉富罗非鱼心脏系数的准确性。与虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*)相比,吉富罗非鱼鳃(2.86 vs 3.90)、肠(1.61 vs 8.52)、肾脏(0.11 vs 0.80)、皮肤(3.33 vs 4.66)4 个组织系数均较低,但吉富罗非鱼肌肉系数更高(51.93 vs 46.50),肝脏系数(1.21 vs 1.16)二者基本接近。与其他哺乳动物脏器系数相比,吉富罗非鱼的心脏、肝脏、肾脏、脾脏所占体重的比例远低于猪(角建林等, 2013; 闵凡贵等, 2009)、羊(钱成等, 2015)、鸡(赵丽丽等, 2018)、犬(黄玲等, 2000)、小鼠(刘科等, 2018)和驴(肖海霞等, 2014)等陆生动物。综上所述,不同物种脏器系数具有明显差异,即使同属于鱼类,虹鳟鱼肠的系数甚至为吉富罗非鱼肠系数的 5 倍以上。因此,在鱼类生理药代动力学 PBPK 模型构建中,借用畜禽动物生理参数或借用虹鳟鱼参数代替其他鱼类,可能影响结果的准确性。

参 考 文 献

- BERTIN L. Appareil circulatoire. In: Traite de zoologie. Agnathes et Poissons, 1958, 13(2): 1399-1458
- Bureau of fishery and fishery administration, ministry of agriculture and rural areas, national aquatic technology promotion station, China fisheries society. 2019 China fisheries statistics yearbook. Beijing: China Agriculture Press, 2019, 25 [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2019 年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2019, 25]
- CHEN H L, SI Z X, DU J X, *et al*. Correlation and path coefficient analysis of the morphometric traits and body

- weight for the four color patterns of Oujiang color common carp. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(5): 110–116 [陈红林, 司周旋, 杜金星, 等. 4 种体色瓯江彩鲤形态性状与体质量的相关性与通径分析. *渔业科学进展*, 2019, 40(5): 110–116]
- CHENG B, AI X H, CHANG Z Q, *et al.* Direction of innovation and development for the study on drug metabolism residues of aquatic animals: The prediction technique based on PBPK model. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2017, 7(6): 42–47 [程波, 艾晓辉, 常志强, 等. 水产动物药物代谢残留研究及创新发展方向——基于 PBPK 模型的残留预测技术. *中国渔业质量与标准*, 2017, 7(6): 42–47]
- DONG J J, SUN C F, TIAN Y Y, *et al.* Correlation analysis of the main morphological traits and body weight of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and morphological traits between males and females. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(2): 76–84 [董浚键, 孙成飞, 田园园, 等. 翘嘴鲈主要形态性状与体重的相关性及其雌雄形态性状差异分析. *渔业科学进展*, 2018, 39(2): 76–84]
- DONG Y S, YIN J Y, CHEN C, *et al.* Establishment and application of the normal reference values of organ masses and organ/body coefficients in SD rats. *Military Medical Sciences*, 2012, 36(5): 351–353 [董延生, 尹纪业, 陈长, 等. SD 大鼠脏器重量及脏器系数正常参考值的确立与应用. *军事医学*, 2012, 36(5): 351–353]
- DONG Z J, LIANG Z Y, XU P, *et al.* Correlation between fillet yield and body measurements in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(2): 212–217 [董在杰, 梁政远, 徐跑, 等. 尼罗罗非鱼出肉率与可量性状的相关性. *中国水产科学*, 2010, 17(2): 212–217]
- HUANG L, LI C Q, KUANG Z Y. Regressive analysis of the main organ weight and body weight of Beagle dogs. *Laboratory Animal Science and Administration*, 2000, 17(2): 35–37 [黄玲, 李常青, 邝枣园. Beagle 犬体重与各脏器重量之间关系的回归分析. *实验动物科学与管理*, 2000, 17(2): 35–37]
- JIAO J L, LI J T, HE B L, *et al.* Correlation of organ weight and body weight in out bred Diannan mini-pigs. *Journal of Kunming Medical University*, 2013, 34(1): 32–35 [角建林, 李进涛, 何保丽, 等. 封闭群滇南小耳猪体重和脏器重量的测定及其相关性分析. *昆明医科大学学报*, 2013, 34(1): 32–35]
- LAW F C P, ABEDINI S, KENNEDY C J. A biologically based toxicokinetic model for pyrene in rainbow trout. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 1991, 110(3): 390–402
- LI C L. *Ichthyology course*. Beijing: China Agriculture Press, 2004 [李承林. *鱼类学教程*. 北京: 中国农业出版社, 2004]
- LIAN Y W, WANG H, NI S K, *et al.* Measurement of organ weight and organ coefficient in BALB/c nude mice. *Chinese Journal of Comparative Medicine*, 2006, 16(5): 285–287 [练有文, 王晖, 倪少凯, 等. BALB/c 系裸小鼠脏器重量、脏器系数的测定. *中国比较医学杂志*, 2006, 16(5): 285–287]
- LIU K, SHI H H, YANG L, *et al.* Detection of blood biochemical, main organ weight and organ coefficient in 9th to 10th week-old CB6F1 and B6CF1 mice. *Laboratory Animal Science*, 2018, 35(1): 26–29 [刘科, 施赫赫, 杨林, 等. 9~10 周龄 CB6F1 与 B6CF1 小鼠血生化、主要脏器质量及脏器系数测定. *实验动物科学*, 2018, 35(1): 26–29]
- MENG Q W, SU J X, LI W D. *Comparative anatomy of fishes*. Beijing: Science Press, 1987 [孟庆闻, 苏锦祥, 李婉端. *鱼类比较解剖*. 北京: 科学出版社, 1987]
- MIN F G, PAN J C, YUAN W, *et al.* Correlation between organ weight and body weight in Outbred Wuzhishan mini-pigs. *Acta Laboratorium Animalis Scientia Sinica*, 2009, 17(6): 445–447 [闵凡贵, 潘金春, 袁文, 等. 封闭群五指山小型猪主要脏器重量与体重的相关性分析. *中国实验动物学报*, 2009, 17(6): 445–447]
- NORD H J. Quantitative vntersuchungen on musculus chomesticus. *Zoologischer Anzeiger*, 1993, 170(7/8): 311
- QIAN C, LUO W X, SU N F, *et al.* Determination of slaughter trait, meat quality and viscera coefficient in Guizhou white goat. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2015, 43(7): 121–123, 128 [钱成, 罗卫星, 苏娜芬, 等. 贵州白山羊的屠宰与肉质性状及脏器系数测定. *贵州农业科学*, 2015, 43(7): 121–123, 128]
- REN S L, YANG N, WANG D X, *et al.* Experimental tissue and embryology of aquatic animals. Qingdao: China Ocean University Press, 2009, 4 [任素莲, 杨宁, 王德秀, 等. *水产动物组织胚胎学实验*. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2009, 4]
- ROBINSON P F, WILBER C G, HUNN J. Organ-body weight relationship in the toadfish *Opsanus tau*. *Chesapeake Science*, 1960, 1: 120–122
- SUN J X, AN J, LIAN J. Analysis of factors affecting organ weight and organ coefficients in experimental animals. *Laboratory Animal Science*, 2009, 26(1): 49–51 [孙建新, 安娟, 连军. 影响实验动物脏器重量及脏器系数因素分析. *实验动物科学*, 2009, 26(1): 49–51]
- WILBER C G, SCHNEIDER R. Organ growth in the puffer fish, *Sphaeroides maculatus*. *Chesapeake Science*, 1967, 8(1): 63–65
- WILNET C G, ROBINSON P F, HUNN J B. Heart size and body size in fish. *Anatomical Record*, 1961, 140: 285–287
- XIAO H X, YU S J, PAREHATIJIANG W F E, *et al.* The analysis of weight and size of donkeys in 3 production areas by R project. *China Animal Husbandry and Veterinary Abstracts*, 2014, 30(11): 56–59 [肖海霞, 玉山江, 帕热哈提江·吾甫尔, 等. 应用 R 语言分析新疆 3 个产区驴体尺和体重的相关性. *中国畜牧兽医文摘*, 2014, 30(11): 56–59]
- ZHAN Y Y, ZHANG W J, Ge C, *et al.* Relationships between body weight and other morphological traits in young sea cucumbers *Apostichopus japonicas*. *Journal of Oceanology*

and Limnology, 2019, 37(2): 759–766
ZHAO L L, HAN L X, YU H B, *et al.* Effects of different weeks of age and sex on the main organ coefficients, intestinal length and body size of SJ5-SPF chickens. Chinese Journal

of Comparative Medicine, 2018, 28(3): 67–71 [赵丽丽, 韩凌霞, 于海波, 等. 不同周龄、性别对 SJ5-SPF 鸡主要脏器系数、肠道长度和体尺的影响. 中国比较医学杂志, 2018, 28(3): 67–71]

(编辑 陈 严)

Investigation of the Organ Coefficients of Adult GIFT Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

XU Juanjuan^{1,3}, WANG Zhuoqun^{2,3}, SHU Xiujun^{2,3}, CHENG Bo^{3①}, REN Yuanyuan³,
ZHANG Xin⁴, WANG Saisai⁴, HAN Gang³, MU Yingchun³, SONG Yi³

(1. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Quality and Standards Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Aquatic Product Quality and Safety Control, Ministry of Agriculture, Beijing 100141, China;

4. Beijing Fisheries Research Institute, Beijing 100068, China)

Abstract To study the relationships among tissues, organ weights, and body weight of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and obtain organ coefficients, 40 adult male GIFT tilapia with body weights of 600~900 g were randomly selected, and their body weight and weights of the heart, liver, kidney, spleen, intestine, gill, skin, gallbladder, scales, muscle, and carcass (fish head, fins, and fish bones) were measured, as well as the total weight of each fish after dissection. Correlation analysis was performed on the body weight and organ weights of the various tissues, an optimal regression model was established, and model extrapolation was verified using approximately 500 g of tilapia tissue organ weights. The results showed that the organ coefficients of the heart, liver, kidney, spleen, intestine, gill, skin, gallbladder, scales, muscle, and carcass of GIFT tilapia were 0.12 ± 0.02 , 1.22 ± 0.20 , 0.11 ± 0.03 , 0.13 ± 0.05 , 1.58 ± 0.30 , 2.85 ± 0.17 , 3.31 ± 0.38 , 1.05 ± 0.24 , 2.89 ± 0.41 , 51.60 ± 2.09 , and 29.66 ± 2.00 , respectively, and all the measured tissue and organ weights and body weight were significantly positively correlated ($P<0.001$). This was consistent with the univariate linear regression model ($y=bx$) and the predicted error of the model for the heart, liver, kidney, spleen, skin, and muscle of the tilapia was within 8%. These results provide baseline data for fish physiology, toxicology, and the construction of a physiologically-based pharmacokinetics model for veterinary medicine of fish.

Key words *Oreochromis niloticus*; Body weight; Organ coefficient; Correlation analysis; Regression model

① Corresponding author: CHENG Bo, E-mail: chengb@cafs.ac.cn