

车载活鱼力学响应特性

常正¹ 黄汉英¹ 涂群资¹ 李路¹ 赵思明² 熊善柏²

1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 华中农业大学食品科技学院, 武汉 430070

摘要 以鲫(*Carassius auratus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鳊(*Parabramis pekinensis*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)为试验材料,通过不同路况及车况的运输试验,研究车载活鱼运输过程中鱼体受力情况。试验测得车载活鱼直线行驶、过减速带及转弯运输的力值曲线,对力值曲线进行平滑滤波处理及提取力学特征值,并对车载活鱼运输的力学特征值进行显著性分析。结果表明:鱼的种类、车速、加速度对部分力学特征值的影响有显著差异,在3种行驶状态中转弯行驶对制动最大力值影响最大。

关键词 活鱼运输; 行驶状态; 力值曲线; 力学响应特征

中图分类号 S 981.16 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)02-0117-05

水果、禽蛋、猪、牛等在运输中难免会受到振动、挤压等胁迫,相关研究主要集中在模拟运输振动对果品、蛋品的影响方面^[1-3],以及猪、牛等在运输中的应激反应方面^[4],而对活鱼运输中力学特性方面的研究还鲜见报道。目前,国内活鱼运输的研究主要集中于采用麻醉^[5]、低温运输^[6-7]、水质调节^[8-9]等技术及方法来提高活鱼运输的存活率以及研究不同运输条件下鱼的生理应激反应与鱼肉品质的变化^[7]。然而,在运输过程中由于路况及车况变化,鱼体会受到碰撞、挤压等外力的影响,过度的外力作用会导致鱼体损伤和生理功能的紊乱,影响鱼肉品质,严重的甚至导致鱼死亡^[10-12]。鱼体所受外力的大小与车速、加速度、鱼的种类等因素有直接关系。本研究通过对活鱼运输车载不同品种鱼类在直线行驶、过减速带及转弯行驶状态下鱼体受力情况进行分析,揭示鱼的种类与车辆行驶条件对鱼体受力特性的影响规律,可为车载活鱼运输中鱼体应激作用机制与运输装备研制提供理论依据和基础参数,对优化活鱼运输方法、提高运输质量等提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用鱼来自湖北省洪湖市大型水产市场,暂养于试验生态水槽中,水温(10±0.2)℃,保证鱼的

健康及活性^[7]。试验用鱼总质量约为64 kg。其中,鲫(*Carassius auratus*) 146尾,平均每尾质量(350±35)g,体长约200 mm;草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*) 51尾,平均每尾质量(1 250±125)g,体长424 mm;鳊(*Parabramis pekinensis*) 116尾,平均每尾质量(550±55)g,体长约500 mm;黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*) 320尾,平均每尾质量(200±30)g,体长约190 mm。试验时间为2015年1月。

1.2 试验设备与仪器

1) 鱼箱。自制亚克力材料鱼箱,总容积为160 L(图1)。

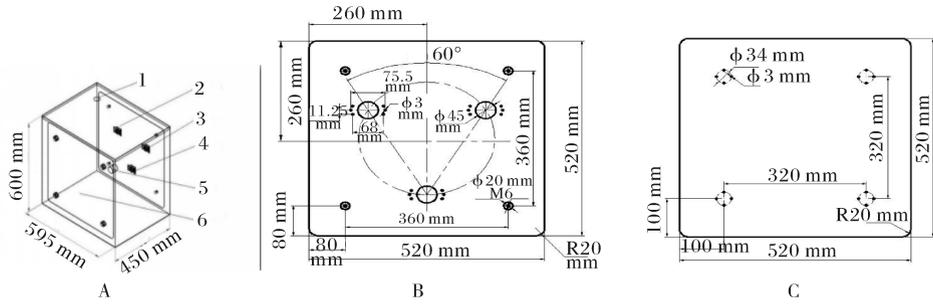
2) 压力数据采集系统。压力测试采用7个电阻应变式传感器,其中3个量程50 N传感器分别独立安装,用于测量单点冲击力,4个量程300 N传感器合并安装构成一个压力测试板(量程为1 200 N)。压力传感器安装于鱼箱内壁,如图1B、C所示。传感器精度0.5%,防水等级:IP 68,传感器输出信号经过滤波放大后,整定为±5 V的标准电压信号。用高速采集卡(采样频率100 kHz),试验中设置采样频率为2.5 kHz,使用配套应用软件对压力信号进行采集、显示和保存。试验数据采集前将流体静压置零。

收稿日期: 2017-05-01

基金项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-46-23); 湖北省技术创新专项重大项目(2016ABA115); 鲜活水产品运输环节品质维持与质量安全控制技术(2014BBB013)

常正, 硕士研究生, 研究方向: 农业电气化与自动化, E-mail: 584720584@qq.com

通信作者: 黄汉英, 副教授, 研究方向: 智能化检测与控制技术, E-mail: hhywmx@mail.hzau.edu.cn



A: 鱼箱 Fish tank; 1: 进水口 Water intake; 2,3,4: 单点传感器 Single point sensor; 5: 出水口 Water outlet; 6: 压力测试板 Pressure test board; B: 单点传感器 Single point sensor; C: 压力测试板 Pressure test board.

图 1 鱼箱与传感器

Fig.1 The fish tank and sensor

1.3 试验方法

运输车为福特全顺 15 座商务车, 拆除后座, 将鱼箱安装在运输车后座处, 鱼箱摆放方向: 压力测试板靠近车头。一般情况下, 水产品活体运输时鱼水质量比为(1:1)~(1:3)^[13-14], 鱼水比越大, 活鱼运输密度越高, 对鱼的生理影响越大, 本研究重点研究高密度活鱼运输条件下力学响应特性, 试验中鱼水质量比选为 1:1, 鱼箱装载量 80%。试验场地为湖北省洪湖市新堤大道(4 车道公路), 车道宽 3.25 m。

1) 直线行驶。运输车载试验鱼分别从静止以约 1 m/s^2 的加速度起动加速到 40 km/h, 匀速保持 30 s, 再制动至汽车静止, 制动加速度约 2 m/s^2 , 测量并记录此过程的力值信息, 重复 3 次。在此试验基础上, 分别提高速度至 60、80 km/h 依次对鲫、草鱼、鳊、黄颡鱼进行如上试验。改变起动加速度为约 2 m/s^2 , 仅载鲫, 其他试验条件不变重复上述过程和操作。

2) 过减速带。运输车分别以 40、60、80 km/h 匀速通过减速带, 重复 3 次, 所载 4 种鱼类同上。

3) 圆周行驶。以之模拟运输车转弯行驶, 调整鱼箱方位, 将鱼箱逆时针旋转 90° , 使压力测试板位于车的左侧。在空旷地带, 运输车以 40 km/h 的速度绕直径 34 m 的圆圈逆时针行驶, 重复 3 次, 所载 4 种鱼类同上。

由于本次试验是在公共交通道路上进行, 为了减少对道路交通的影响, 本试验未做空白对照试验。

1.4 数据处理

1) 平滑滤波。不同试验条件下力值曲线相似, 以车载鲫直线行驶为例, 对采集的原始压力数据, 采用 Matlab 的 Smooth 函数^[15-16]对其进行平滑滤波处理。

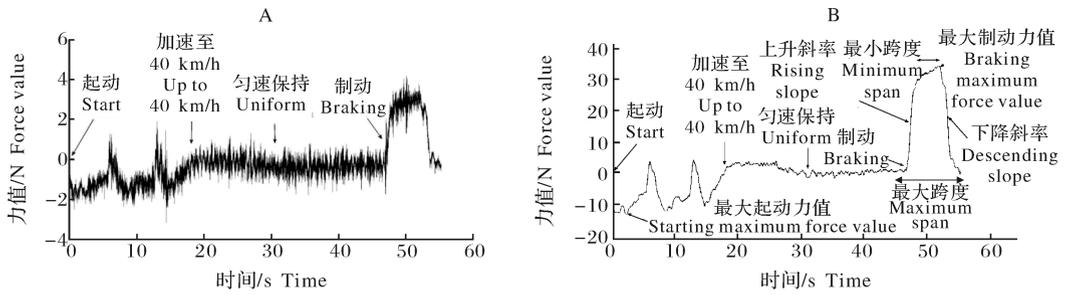
2) 力学特征值选择与提取。用 Excel 的 MAX 和 MIN 函数提取整个直线行驶过程的制动最大力值及起动最大力值。运用 Matlab 提取加速冲量(起动阶段的力值曲线积分)和减速冲量(制动阶段的力值曲线积分), 用一元线性拟合的方法求得制动阶段波峰的上升斜率和下降斜率, 分别用来表示力值加载和卸载的速度。并用数据游标读取波峰的最大跨度、最小跨度, 最大跨度表示制动时间, 最小跨度表示峰值力持续时间。

3) 显著性检验。应用显著性检验分析鱼的种类对力学特征值的影响, 在直线行驶、过减速带及圆周行驶条件选取鱼的种类 1 个因素, 其为 4 个水平: 鲫、鳊、草鱼、黄颡鱼, 取 3 个车速 3 次重复结果共 9 个数据的平均值, 应用 SAS V 8.1 软件和 Excel 软件进行数据分析。显著性检验为邓肯检验^[17], 显著性水平设置 $\alpha=0.05$ 。应用显著性检验分析行驶状态对力学特征值的影响, 在直线行驶条件下选取车速、起动加速度 2 个因素, 其中车速为 3 个水平: 40、60、80 km/h, 取 4 个鱼种 3 次重复结果共 12 个数据的平均值。起动加速度为 2 个水平: 1、 2 m/s^2 。取鲫的 3 个车速 3 次重复结果共 9 个数据的平均值, 分析工具与方法同上。

2 结果与分析

2.1 滤波处理

运输车载鲫从静止以约 1 m/s^2 的加速度起动加速到 40 km/h, 采集到的原始压力数据如图 2A 所示, 平滑滤波处理后如图 2B 所示。由图 2 可知, 平滑处理既保留了原曲线的变化趋势, 又消除了尖峰脉冲对结果分析造成的影响, 方便后续力学特征的选择与提取。



A:原始力值曲线 Original force value curve; B:平滑滤波力值曲线 Smoothing force value curve.

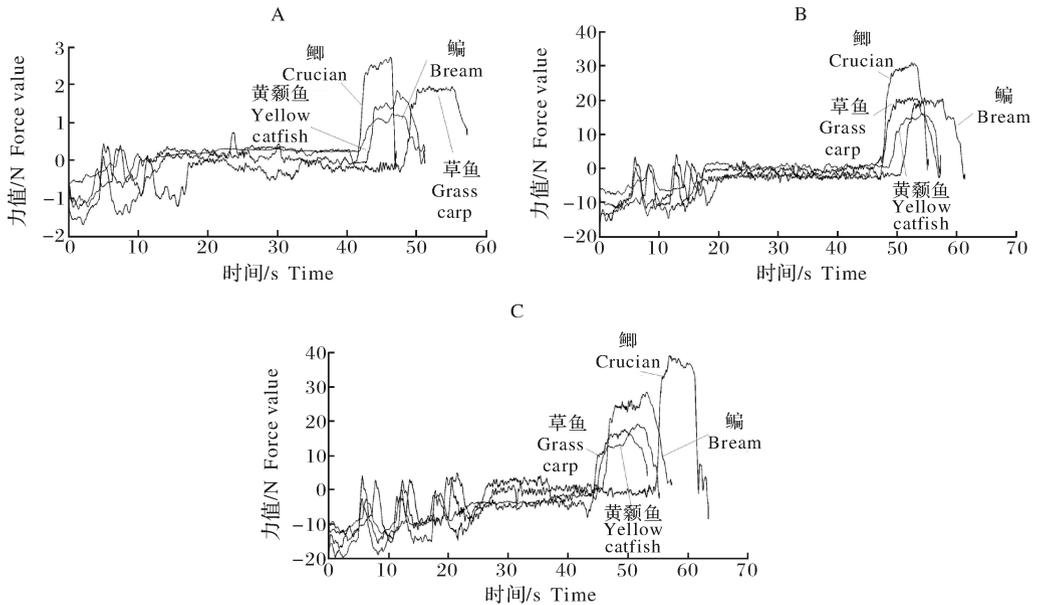
图 2 车载活鱼运输力值曲线

Fig.2 Force value curve of live fish transportation

2.2 直线行驶力值曲线

图 3 为直线行驶的力值曲线, 起动加速度约 1 m/s^2 , 制动加速度约 2 m/s^2 。由图 3 可知, 不同鱼类、不同运行速度, 力值曲线总体趋势基本一致。

运输车起动阶段力值曲线出现 2~3 次波峰, 是由于车辆换挡所致, 其中起动最大力值出现在第一个波峰处, 在匀速保持阶段, 鱼受到的压力几乎为零, 在制动阶段出现一个较大波峰(即制动最大力值)。



A:行驶速度 40 km/h Running speed of 40 km/h; B:行驶速度 60 km/h Running speed of 60 km/h; C:行驶速度 80 km/h Running speed of 80 km/h.

图 3 直线行驶力值曲线

Fig.3 Force value curve of straight driving

2.3 鱼的种类对力学特征值的影响

鱼的种类对力学特征值的影响如表 1 所示, 由表 1 可知, 直线行驶时鱼的种类对最小跨度、加速冲量的影响无显著差异, 而对其他力学特征值的影响均有显著差异, 其中草鱼的减速冲量最大, 为 $147.26\text{ N}\cdot\text{s}$, 鲫的制动最大力值最大, 为 29.69 N 。过减速带鱼的种类对制动最大力值、起动最大力值的影响有显著差异, 其中鲫制动最大力值最大, 为 35.38

N 。圆周行驶鱼的种类对制动最大力值、起动最大力值的影响有显著差异, 其中草鱼制动最大力值最大, 为 133.97 N 。在 3 种行驶状态中, 黄颡鱼受到的减速冲量、制动最大力值和起动最大力值均为最小的。以上结果主要原因是草鱼个体大, 鲫活性强, 在制动过程中鱼体受惯性力大且作用时间长, 从而对减速冲量和制动最大力值的影响较大, 而黄颡鱼体型小且活性低, 所以其对力学特征值的影响较小。

表 1 鱼的种类对力学特征值的影响

Table 1 Effects of type of fish on the mechanical characteristic value

试验条件 Experiment condition	力学特征值 Mechanical characteristics value	鲫 Crucian	鳊 Bream	草鱼 Grass carp	黄颡鱼 Yellow catfish
直线行驶 Straight line travel	起动最大力值/N Starting maximum force value	-18.13±1.26d	-15.78±0.48c	-14.01±0.16 b	-8.62±0.09a
	加速冲量/(N·s) Acceleration pulse	-65.80±0.26a	-75.82±0.42a	-75.51±0.55a	-75.00±0.49a
	上升斜率 Rising slope	3.07±0.20a	1.84±0.13b	1.41±0.02cb	0.69±0.01c
	制动最大力值/N Braking maximum force value	29.69±0.16a	23.03±0.12b	19.70±0.14c	14.21±0.11d
	下降斜率 Descending slope	-3.95±0.21b	-0.89±0.05a	-1.15±0.05ba	-1.46±0.07ba
	减速冲量/(N·s) Deceleration impulse	100.41±0.60b	124.63±0.32c	147.26±0.56d	80.90±0.28a
	最大跨度/s Maximum span	14.94±0.45b	20.33±0.59a	21.89±0.62a	20.00±0.84a
过减速带 Slow zone	最小跨度/s Minimum span	7.75±0.47a	9.44±0.19a	9.56±0.65a	9.39±0.55a
	起动最大力值/N Starting maximum force value	-37.24±0.63d	-32.14±0.15c	-26.66±0.24b	-17.64±0.33a
圆周行驶 Circle driving	制动最大力值/N Braking maximum force value	35.38±0.18a	31.16±0.20b	24.79±0.26c	15.78±0.51d
	起动最大力值/N Starting maximum force value	-44.20±0.29b	-59.09±0.34c	-75.17±0.46d	-26.46±0.16a
	制动最大力值/N Braking maximum force value	57.13±0.27c	111.23±0.52b	133.97±0.65a	25.09±0.05d

注:同行不同小写字母表示不同鱼的种类之间在 0.05 水平存在显著差异。Note: Different small letters represent different types of peer fish at the 0.05 level there are significant differences.

2.4 车辆行驶状态对力学特征值的影响

直线行驶状态对力学特征值的影响如表 2 所示,由表 2 可知,车速对力学特征值的影响均有显著差异。

由于车速直接影响直线行驶的起动阶段和制动阶段的时间以及制动的初始速度,起动阶段的加速

冲量绝对值、起动最大力值绝对值,制动阶段的最大跨度、最小跨度、减速冲量、制动最大力值,均随着车速的上升而上升。其中,80 km/h 的最大跨度最大,为 24.00 s,40 km/h 最小,为 13.60 s。80 km/h 的制动最大力值最大,为 28.03 N,40 km/h 最小,为 17.93 N。起动加速度对起动最大力值有显著影响,

表 2 直线行驶状态对力学特征值的影响

Table 2 The influence of straight line driving condition on mechanical characteristic value

力学特征值 Mechanical characteristics value	车速/(km/h) Speed			加速度/(m/s ²) Acceleration	
	40	60	80	1	2
起动最大力值/N Starting maximum force value	-13.92±0.06a	-14.70±0.17b	-16.07±0.19c	-15.74±0.13a	-30.58±0.20b
加速冲量/(N·s) Acceleration pulse	-61.84±0.31c	-71.26±0.36b	-81.14±0.16a	-63.42±0.22a	-65.56±0.33a
上升斜率 Rising slope	1.76±0.05b	1.72±0.07b	2.57±0.11a	2.71±0.11a	3.42±0.07a
制动最大力值/N Braking maximum force value	17.93±0.06c	23.81±0.15b	28.03±0.17a	29.52±0.07a	27.34±0.14a
下降斜率 Descending slope	-0.84±0.04a	-2.94±0.18c	-1.86±0.07b	-5.22±0.25a	-2.67±0.17b
减速冲量/(N·s) Deceleration impulse	93.50±0.47a	123.26±0.13b	169.50±1.02c	145.53±0.16a	129.75±0.19a
最大跨度/s Maximum span	13.60±0.27c	17.67±0.53b	24.00±1.44a	18.00±1.02a	18.89±0.57a
最小跨度/s Minimum span	7.57±0.38c	8.87±0.18b	9.90±0.59a	7.56±0.31a	8.14±0.41a

注:同行不同小写字母表示不同车速之间、不同加速度之间在 0.05 水平差异显著。Note: Different small letters represent different types of peer fish at the 0.05 level there are significant differences.

对其余力学特征值均无显著影响,其中对下降斜率的影响为测量干扰所致。起动加速度为 2 m/s² 对应的起动最大力值绝对值最大,为 30.58 N。

3 讨论

本研究提取了 8 个车载活鱼力学响应特征值,考察了鱼的种类及行驶速度对力学特征值的影响。结果表明,在鱼水质量比为 1:1,0.05 显著性水平

下,鱼的种类对减速冲量、制动最大力值及起动最大力值有显著影响,因不同种类的鱼个体大小及活跃程度不同而有差异,其中直线行驶鱼类所受制动最大力值在 14.21~29.69 N 之间,过减速带时鱼类所受制动最大力值在 15.78~35.38 N 之间,圆周行驶鱼类所受制动最大力值在 25.09~133.97 N 之间,制动最大力值随鱼类个体增大、活跃程度增强而增大。车辆行驶速度对最大跨度、最小跨度、加速冲

量、制动最大力值有显著影响,其中直线行驶所受制动最大力值在 17.93~28.03 N 之间。起动加速度对起动最大力值有显著影响,对其余力学特征值均无显著影响。起动加速度为 2 m/s^2 对应的起动最大力值绝对值最大,为 30.58 N。

参 考 文 献

- [1] 潘俨,车凤斌,董成虎,等.模拟运输振动对新疆杏呼吸途径和品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(3):325-331.
- [2] 李萍.黄花梨模拟运输振动引起的机械损伤与品质损害[D].杭州:浙江大学,2014.
- [3] 白红武,滕光辉,袁正东,等.鸡蛋在运输中产生破蛋的试验研究[J].中国家禽,2005,27(23):4.
- [4] 邓红雨.公路运输条件下牛的运输应激反应研究[D].郑州:河南农业大学,2013.
- [5] 刘骁,谢晶,杨茜,等.无水保活条件下团头鲂生理应激及鱼肉品质的变化[J].农业工程学报,2016,32(3):295-300.
- [6] 聂少伍,洪苑乾,黄汉英,等.低温活鱼运输箱监控系统研制[J].渔业科学进展,2014,35(4):110-117.
- [7] 朱健康,卢俊杰,游远新,等.海水活鱼运输装置及应用效果试验[J].农业工程学报,2005,21(10):187-189.
- [8] 胡培培,刘汝鹏,赵忠波,等.运输时间和密度对翘嘴鲈皮质醇、耗氧率及氧气袋内水质的影响[J].水生生物学报,2014(6):1190-1194.
- [9] 洪苑乾,胡月来,黄汉英,等.活鱼运输箱水质自动监控系统的研究[J].渔业现代化,2013,40(5):48-52.
- [10] 李勇男,刘海英,苏从毅.鱼类的运输应激反应诱发因素、影响及缓解措施[J].食品工业科技,2015,36(23):391-394.
- [11] VEISETHKENT E, GROVE H, FAERGESTAD E M, et al. Changes in muscle and blood plasma proteomes of Atlantic salmon (*Salmo salar*) induced by crowding[J]. Aquaculture, 2010, 309(1):272-279.
- [12] LOPEZPATON M A, HERNANDEZPEREZ J, GESTO M, et al. Short-term time course of liver metabolic response to acute handling stress in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Comparative biochemistry & physiology part A: molecular & integrative physiology, 2014, 168(2):40-49.
- [13] 中国水产科学研究院南海水产研究所. GB/T27638—2011 活鱼运输技术规范[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [14] 谢佳彦,朱爱意.几种重要水产品活体运输技术研究[J].水产科学,2010,29(9):532-536.
- [15] 王若鹏,夏赞勋,谢鹏燕,等.基于 MATLAB 的二重积分计算方法[J].高等数学研究,2012,15(2):61-62.
- [16] 洪志敏,白如玉,闫在在,等.二重积分的蒙特卡罗数值算法[J].数学的实践与认识,2015,45(20):266-271.
- [17] 曾令彬,赵思明,熊善柏,等.风干白鲢的热风干燥模型及内部水分扩散特性[J].农业工程学报,2008,24(7):280-283.

Mechanical response characteristics of vehicle-mounted live fish transportation

CHANG Zheng¹ HUANG Hanying¹ TU Qunzi¹ LI Lu¹ ZHAO Siming² XIONG Shanbai²

1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract Crucian carp, grass carp, bream and yellow catfish were used to investigate the force conditions for live fish under the process of transportation and obtain force curve of transportation for live fish through testing conditions of different road and vehicle including straight line driving, over deceleration belt and uniform circular motion. The force value curve was filtered and the values of mechanical characteristics were extracted and analyzed. The results showed that there was a significant difference of affecting values of partial mechanical characteristics under the different kinds of fish and speed of vehicles and speed of acceleration. Under conditions of the three different driving, uniform circular motion had the greatest impact on the maximum force. It will provide a foundation for studying stress mechanism of live fish carried by vehicles under conditions of different transportation.

Keywords transportation of live fish; transport condition; force value curve; mechanical response characteristics