

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20220320001

http://www.yykxjz.cn/

李娇妮, 臧战, 廖秀睿, 李曦, 吕布, 杨守国, VASQUEZ Herbert Ely, 顾志峰, 郑兴, 王爱民. 运输方式对企鹅珍珠贝存活、生长、消化及抗氧化性能的影响探究. 渔业科学进展, 2023, 44(5): 211-218
LI J N, ZANG Z, LIAO X R, LI X, LÜ B, YANG S G, VASQUEZ H E, GU Z F, ZHENG X, WANG A M. The effects of transportation modes on the survival, growth, digestion and antioxidant capacity of *Pteria penguin* juveniles. Progress in Fishery Sciences, 2023, 44(5): 211-218

运输方式对企鹅珍珠贝存活、生长、消化及抗氧化性能的影响探究*

李娇妮¹ 臧战¹ 廖秀睿¹ 李曦¹ 吕布¹ 杨守国^{1,2,3}
VASQUEZ Herbert Ely^{1,2} 顾志峰^{1,2} 郑兴^{1,2①} 王爱民^{1,2①}

(1. 海南大学海洋学院 海南 海口 570228; 2. 海南大学南海海洋资源利用国家重点实验室 海南 海口 570228; 3. 海南省海洋与渔业科学院 海南 海口 571126)

摘要 为探究运输方式对企鹅珍珠贝(*Pteria penguin*)稚贝存活、生长、消化及抗氧化性能的影响。本研究以企鹅珍珠贝稚贝为研究对象,分别以有水运输和无水运输2种方式进行8 h实地运输。运输后暂养14 d进行观察。结果显示,在恢复期第14天,有水运输和无水运输存活率(SR)分别为(97.00±1.00)%和(82.00±0.71)%;有水运输组的壳长、壳高和体重均显著高于无水运输($P<0.05$);无水运输的皮质醇(COR)含量显著下降;2种运输中淀粉酶活性均呈上升趋势,超氧化物歧化酶(SOD)活性下降。在恢复期第14天,有水运输组酶活性高于无水运输($P<0.05$);有水运输后,酸性磷酸酶(ACP)、谷丙转氨酶(GPT)和谷草转氨酶(GOP)活性上升;无水运输后,ACP活性上升,GPT和GOT活性下降;在恢复阶段,有水运输组ACP活性逐渐下降,无水运输组ACP活性呈先下降后上升的趋势,GOP和GPT活性不断上升。研究表明,运输方式会对企鹅珍珠贝稚贝产生不同影响,有水运输相对无水运输可使企鹅珍珠贝稚贝在后期恢复阶段具有更好的存活效果和生长状态,稚贝运输后需一定时间进行生理恢复从而能更好地适应野外养殖环境。

关键词 企鹅珍珠贝; 稚贝; 运输; 存活; 生长; 消化性能; 抗氧化能力

中图分类号 S968.3 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2023)05-0211-08

企鹅珍珠贝(*Pteria penguin*)是热带和亚热带的大海产经济贝类,主要分布于我国广东、广西、海南等沿海地区以及日本九州南部、琉球群岛直至菲律宾等地(李治钤等,2012)。近年来,该贝类在南方的养殖规模逐渐增大(栗志民等,2011)。养殖过程需要进行运输,而苗种运输是水产生殖活动中不可或缺的一环

之一(黄志峰等,2020),海区养殖、品种推广、商品交易等过程都有涉及(邓正华等,2020)。

运输过程发生在较小的空间(Robertson *et al*, 1988),是水生动物的常见的一道工序,集约化水产养殖设施中的水生动物会在装载、运输和卸载相关的搬运和物理干扰中引发应激反应(Davis *et al*, 2002;

* 海南省重点研发计划项目(ZDYF2021XDNY277)、海南省院士创新平台建设项目(HD-YSZX-202011)、国家自然科学基金项目(31772847)、国家重点研发计划项目(2018YFD0900704)和海南省自然科学基金(320QN207)共同资助。

李娇妮, E-mail: 956249939@qq.com

①通信作者: 郑兴, E-mail: zhengxing_edu@163.com; 王爱民, 教授, E-mail: aimwang@163.com

收稿日期: 2022-03-20, 收修改稿日期: 2022-06-01

Frisch *et al.*, 2000), 有可能导致长期健康损害(Arends, 1999; Larsson *et al.*, 1985)。缺乏科学方法的指导及运输后的有效管理手段, 导致苗种运输后大量折损, 影响生产效益(Carneiro *et al.*, 2002)。运输活动对于水生生物体生理相关影响的研究目前主要集中在鱼类、甲壳类和棘皮动物等(陈梓聪, 2020; 张勇, 2016), 但企鹅珍珠贝运输等方面的研究资料尚缺乏。

本文以企鹅珍珠贝稚贝为研究对象, 开展 8 h 实际运输实验, 比较有水运输和无水运输对企鹅珍珠贝稚贝的存活、生长、消化及抗氧化性能的影响, 以期探讨运输过程及运输后恢复过程关键点所在, 为优化企鹅珍珠贝苗种运输技术及运输后管理技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本研究所用企鹅珍珠贝稚贝为课题组在广西北海育苗场繁育所得, 待其生长至稚贝阶段, 选择大小规格相近的 5 000 只个体作为实验材料。所选实验稚贝体重为 (0.15 ± 0.01) mg, 壳长(HL)为 (7.4 ± 0.4) mm, 壳高(SH)为 (4.1 ± 0.3) mm, 运输前 1 d 停止喂食。

1.2 实验设计

运输胁迫处理为实际运输操作处理。汽车运输时间为 8 h, 车内温度约为 20 °C, 实验准备约 2 500 只稚贝进行有水运输, 将其放入 5 个网袋中, 水体体积为 35 L, 水温控制在 (20.0 ± 2.0) °C, 运输过程持续充氧。约 2 500 只稚贝进行无水运输, 泡沫箱内温度控制在 (15.0 ± 3.0) °C, 中间采用泡沫板隔断, 一边放冰块使其运输环境保持低温, 另一边底部使用泡沫块铺垫, 防止冰水直接接触稚贝, 在运输箱底部加入少量海水, 然后将放入网袋的稚贝放在泡沫垫上方, 再将多张使用海水浸湿的报纸铺在网袋上进行保湿处理(图 1), 使用湿度测量仪测试湿度, 将湿度控制在 80% r/h 左右。

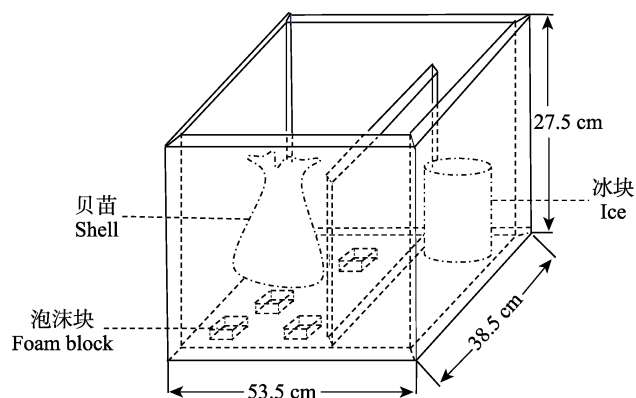


图1 无水运输装置模式图

Fig.1 Diagram of waterless transportation device

相同运输条件下, 实验样品分为 3 个组: (1)运输前样品, 作为对照组, 不同运输方式共用对照组样品; (2)运输后样品, 为经过 8 h 运输后所得样品; (3)修复期样品, 为运输后放入养殖水体中修复的样品, 分别在修复 7 d 和 14 d 进行取样分析。

运输前和运输后养殖条件和管理手段基本一致, 水温为 (27.5 ± 1.0) °C, 盐度为 31.5 ± 0.5 , 每天换 2/3 的水, 投喂湛江等边金藻(*Isochrysis zhanjiangensis*)、牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)和亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)的混合藻液。

1.3 样品的获得及处理

在运输实验前, 将部分企鹅珍珠贝稚贝作为对照组放入液氮中, 剩余稚贝分别采用有水运输和无水运输 2 种运输方式, 并在运输完成后分别随机取样放入液氮中, 将剩余的企鹅珍珠贝稚贝放入养殖池中进行暂养恢复, 并在暂养后第 7 天和第 14 天后取样。取 100 只稚贝在冰面上解剖取其内脏团, 准确称取待测企鹅珍珠贝内脏团的重量, 按重量(g): 体积(mL)=1: 9 的比例加入 9 倍体积的生理盐水, 冰水浴条件下机械摇匀, 2 500 r/min 离心 10 min, 取上清液用于酶活性测定, 每个样品重复测定 3 次。

1.4 指标检测

1.4.1 形态指标 在数码显微镜下进行测量, 主要为壳长和壳高, 样本数为 100 只。

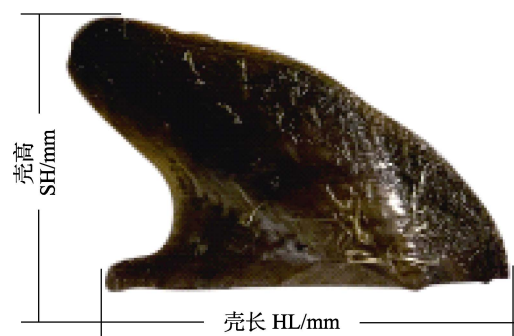


图2 企鹅珍珠贝外壳形态

Fig.2 Pattern diagram of *P. penguin* juvenile morphology

1.4.2 质量指标 通过万分天平测量 100 只企鹅珍珠贝稚贝的体重。

1.4.3 存活率 存活率计算公式如下:

$$\text{存活率(Survival rate, SR, \%)} = 100 \times N_2 / N_1$$

式中, N_1 、 N_2 分别为随机抽取企鹅珍珠贝稚贝 100 只和其中存活的个数, 并进行 3 个重复。

1.4.4 生理指标 采用南京建成生物科技有限公

司的生化试剂盒进行淀粉酶(α -AMS)、超氧化物歧化酶(SOD)、碱性磷酸酶(AKP)、谷草转氨酶(GOT)和谷丙转氨酶(GPT)的检测, 操作方法严格按照说明书的方法进行。通过酶联免疫测定法测定企鹅珍珠贝稚贝内脏团皮质醇(COR)的含量。

1.5 数据分析及统计

实验数据以平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)表示。使用 DPS 统计软件进行差异性分析, $P < 0.05$ 为显著差异。

2 结果

2.1 运输方式对企鹅珍珠贝稚贝生长的影响

不同运输模式对企鹅珍珠贝后期恢复阶段 SR、体重增加速度、壳长和壳高有显著影响($P < 0.05$)(表 1)。

有水运输后第 14 天的 SR 达(97.00 \pm 1.00)%, 显著高于无水运输[(82.00 \pm 0.71)%]; 有水运输后第 7 天和第 14 天的体重分别为(0.43 \pm 0.01)和(0.62 \pm 0.01) mg, 显著高于无水运输[(0.19 \pm 0.02)和(0.24 \pm 0.02) mg]; 有水运输后第 7 天和第 14 天的壳长分别为(9.05 \pm 0.70)和(12.56 \pm 0.60) mm, 显著高于无水运输[(7.76 \pm 0.40)和(7.83 \pm 0.40) mm]; 有水运输后第 7 天和第 14 天的壳高分别为(6.63 \pm 0.40)和(7.55 \pm 0.50) mm, 显著高于无水运输[(4.68 \pm 0.40)和(5.09 \pm 0.60) mm]。

2.2 运输方式对企鹅珍珠贝稚贝 COR 含量的影响

不同运输模式对企鹅珍珠贝的 COR 含量有显著影响($P < 0.05$)。无水运输 8 h 后, COR 含量由(1 989.90 \pm 8.30) ng/L 下降至(1 495.74 \pm 38.08) ng/L。有水运输 COR 含量则无显著变化[(1 977.91 \pm 12.46) ng/L]。

表 1 不同运输模式对企鹅珍珠贝稚贝存活和生长的影响
Tab.1 Effects of different transportation modes on the survival and growth of *P. penguin* juvenile

指标 Index	运输模式 Transport modes	对照组 Control	8 h	7 d	14 d
存活率 Survival rate/%	有水运输	100.00 \pm 1.10 ^{A,a}	98.00 \pm 0.57 ^{AB,a}	98.00 \pm 0.67 ^{ABa}	97.00 \pm 1.00 ^{B,a}
	无水运输	100.00 \pm 1.10 ^{A,a}	97.00 \pm 1.00 ^{B,a}	97.00 \pm 0.71 ^{B,a}	82.00 \pm 0.71 ^{C,b}
体重 Weight/mg	有水运输	0.15 \pm 0.01 ^{C,a}	0.16 \pm 0.02 ^{C,a}	0.43 \pm 0.01 ^{B,a}	0.62 \pm 0.01 ^{A,a}
	无水运输	0.15 \pm 0.01 ^{B,a}	0.16 \pm 0.01 ^{B,a}	0.19 \pm 0.02 ^{B,b}	0.24 \pm 0.02 ^{A,b}
壳长 Shell length/mm	有水运输	7.40 \pm 0.40 ^{C,a}	7.50 \pm 0.50 ^{C,a}	9.05 \pm 0.70 ^{B,a}	12.56 \pm 0.6 ^{A,a}
	无水运输	7.40 \pm 0.20 ^{A,a}	7.50 \pm 0.30 ^{A,a}	7.76 \pm 0.40 ^{A,b}	7.83 \pm 0.4 ^{A,b}
壳高 Shell height/mm	有水运输	4.10 \pm 0.30 ^{C,a}	4.75 \pm 0.50 ^{C,a}	6.63 \pm 0.40 ^{B,a}	7.55 \pm 0.5 ^{A,a}
	无水运输	4.10 \pm 0.30 ^{A,a}	4.34 \pm 0.50 ^{A,a}	4.68 \pm 0.40 ^{A,b}	5.09 \pm 0.6 ^{A,b}

注: 不同大写字母表示相同运输方式下不同组别之间存在显著差异($P < 0.05$); 不同小写字母表示相同组别的不同运输方式之间存在显著差异($P < 0.05$), 下同。

Note: Different capital letters represent significant differences among different groups under the same mode of transportation ($P < 0.05$); Different lowercase letters represent significant differences between different modes of transport ($P < 0.05$) in the same group, the same below.

运输结束后放入养殖室中的恢复阶段, 不同运输方式的 COR 含量存在显著差异($P < 0.05$)。有水运输在第 7 天和第 14 天分别上升和下降至(2 061.87 \pm 32.45)和(1 999.50 \pm 10.18) ng/L。无水运输在恢复期第 7 天和第 14 天分别显著升高和下降至(2 450.48 \pm 47.92) ng/L 和(1 668.46 \pm 20.36) ng/L(图 3)。

2.3 运输方式对企鹅珍珠贝稚贝消化酶的影响

不同运输方式对淀粉酶活性表达具有显著影响($P < 0.05$)。有水运输 8 h 后, 淀粉酶活性由(0.14 \pm 0.01) U/mg prot 上升至(0.66 \pm 0.01) U/mg prot, 无水运输中, 淀粉酶活性上升至(0.33 \pm 0.07) U/mg prot。

运输结束后, 放入养殖室中的恢复阶段, 不同运输方式的淀粉酶活性恢复程度之间存在显著差异

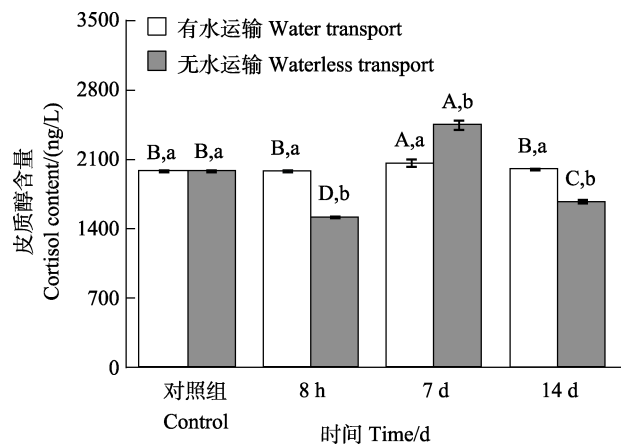


图 3 不同的运输方式对企鹅珍珠贝稚贝 COR 含量的影响
Fig.3 Effect of different transportation modes on cortisol content of *P. penguin* juvenile

($P<0.05$)。有水运输淀粉酶活性逐步升高,在恢复期第7天和14天分别显著增高至 (0.74 ± 0.04) 和 (1.56 ± 0.08) U/mg prot;无水运输在恢复期第7天和第14天分别显著升高至 (0.87 ± 0.08) 和 (1.06 ± 0.04) U/mg prot (图4)。

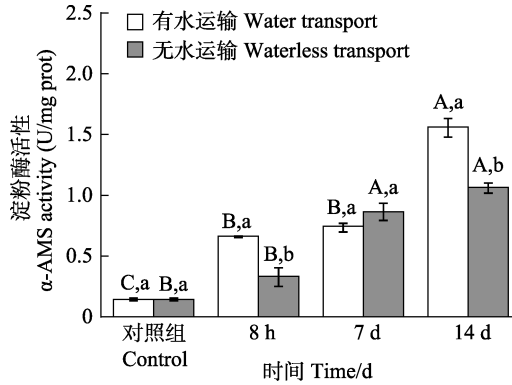


图4 不同运输模式对企鹅珍珠贝稚贝淀粉酶活力的影响
Fig.4 Effect of different transportation modes on amylase activity of *P. penguin* juvenile

2.4 运输方式对企鹅珍珠贝稚贝部分抗氧化酶的影响

不同运输方式对企鹅珍珠贝的SOD、ACP、GOT和GPT活性产生显著影响($P<0.05$)。有水运输8h后,SOD活性显著下降($P<0.05$),由 (98.65 ± 0.42) U/mg prot显著下降至 (77.01 ± 1.17) U/mg prot。ACP、GPT和

GOT活性显著上升($P<0.05$),分别由 (98.00 ± 8.68) 、 (69.35 ± 4.73) 和 (54.94 ± 1.46) U/g prot上升至 (130.04 ± 7.97) 、 (75.34 ± 0.57) 和 (72.56 ± 0.65) U/g prot。无水运输8h后,SOD、GPT和GOT活性下降,分别下降至 (45.70 ± 0.76) 、 (20.18 ± 0.59) 和 (40.63 ± 7.34) U/g prot。ACP活性上升至 (153.39 ± 6.79) U/g prot。

运输结束后的恢复阶段,不同的运输方式其SOD、ACP、GOT和GPT活性恢复程度之间存在显著差异($P<0.05$)。有水运输后,SOD和ACP活性在恢复期第7天和第14天呈显著下降的趋势,SOD活性分别下降至 (51.51 ± 0.51) 和 (34.37 ± 0.3) U/mg prot,ACP活性分别下降至 (112.01 ± 4.14) 和 (79.56 ± 1.04) U/g prot。有水运输后,GPT和GOT活性恢复期第7天和第14天呈逐渐上升趋势,GPT分别上升至 (35.95 ± 4.24) 和 (43.03 ± 1.38) U/g prot;GOT分别上升至 (65.68 ± 7.89) 和 (84.31 ± 9.46) U/g prot。无水运输8h后,SOD活性呈先上升后下降的趋势,分别上升至 (86.60 ± 0.19) U/mg prot和下降至 (20.04 ± 1.36) U/mg prot。ACP、GPT和GOT活性在恢复期第7天和第14天呈逐渐上升趋势,ACP活性分别上升至 (87.97 ± 3.83) 和 (168.24 ± 3.46) U/g prot;GPT活性分别上升至 (26.59 ± 2.31) 和 (47.62 ± 0.05) U/g prot。GOT活性分别上升至 (65.68 ± 7.89) 和 (84.31 ± 9.46) U/g prot (图5)。

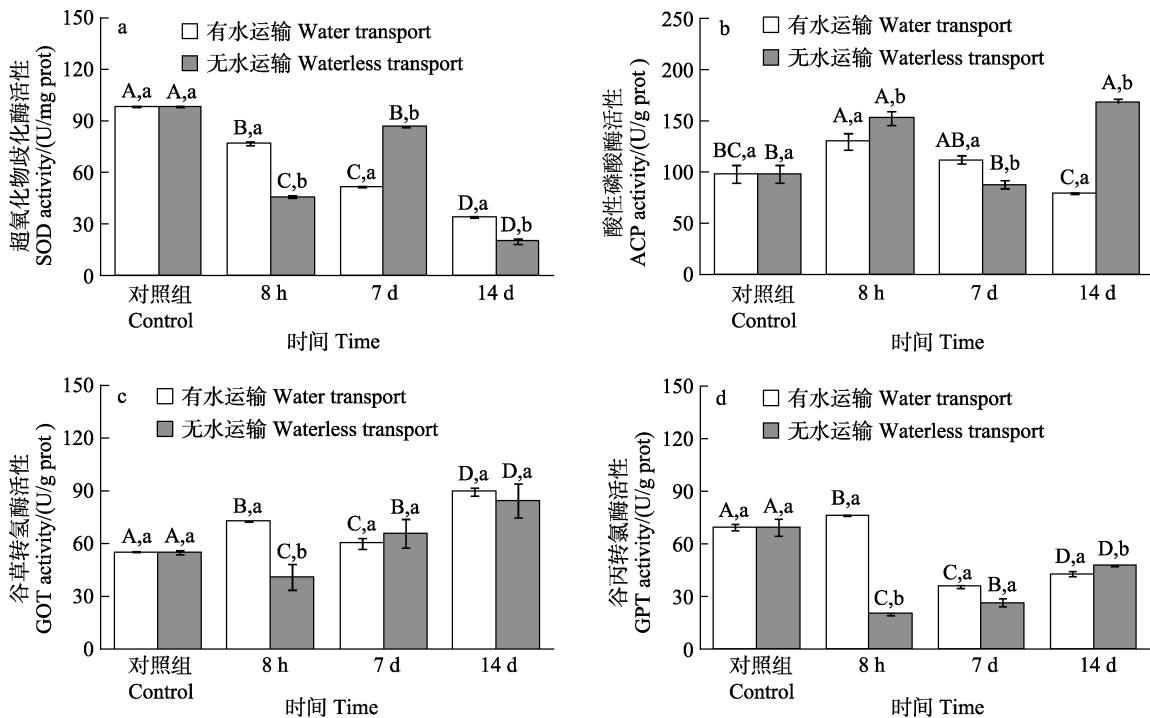


图5 不同运输方式对企鹅珍珠贝稚贝超氧化物歧化酶(a)、酸性磷酸酶(b)、谷草转氨酶(c)、谷丙转氨酶(d)活性的影响
Fig.5 Effects of different transportation modes on the activities of superoxide dismutase (a), alkaline phosphatase (b), glutamic-oxaloacetic transaminase (c) and glutamic-pyruvic transaminase (d) of *P. penguin* juvenile

3 讨论

3.1 运输方式对企鹅珍珠贝稚贝生长的影响

运输胁迫在一定程度上影响贝类的生长状态(马壮等, 2020)。合适与科学的运输方式不会引起运输动物的大量死亡。低温下大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)在经过有水保活, 其 SR 达 100% (刘伟东等, 2009)。本研究结果表明, 企鹅珍珠贝稚贝在有水运输后, SR 可达 98%, 无水运输后 SR 为 97%。有水运输在恢复阶段第 14 天的 SR 达 97%, 显著高于无水运输。与邓正华等(2020)研究结果较为一致。企鹅珍珠贝苗种运输在后续恢复过程中, 有水运输的壳长、壳高和体重均高于无水运输, 有水运输相对于无水运输在低温休眠的状态下, 在水分充分且 O₂ 充足的条件下, 企鹅珍珠贝生命力更强, 具有更好的存活效果和恢复效果。

3.2 运输方式对企鹅珍珠贝稚贝 COR 含量的影响

COR 含量的变化是体现应激程度的重要生理学指标之一(Hglund *et al*, 2019; James *et al*, 2005), 在低温和应激条件下显著增加(Qiang *et al*, 2015)。研究发现, 马氏珠母贝(*Pteria martensii*)稚贝 8 h 运输后, COR 含量呈先降低后上升的趋势, 与上述研究结果不一致, 其原因可能在于实验条件及实验对象生理状态差异。本研究在运输过程中, 有水运输水温控制在 20 °C 左右, 无水运输箱内环境温度为 13 °C 左右, 相对一直处于温度较低环境, 而低温环境在一定程度上可对机体形成一定麻痹作用, 从而降低应激程度, 也会抑制相关生物酶活力(Babiak *et al*, 2001; 闫秀明等, 2011)。

3.3 运输方式对企鹅珍珠贝稚贝消化性能的影响

消化酶能消化和分解生物从外界摄取的食物, 为个体提供生长、发育和繁殖等所需的能量, 其活性的大小反映水产生物消化生理的基本特征(Deng *et al*, 2021)。本研究发现, 企鹅珍珠贝稚贝在 8 h 运输后, 其淀粉酶活性呈上升趋势, 且在恢复期不断上升, 有水运输后, 其淀粉酶活性高于无水运输, 这可能是由于机体在后期生长过程中, 需要更多能量去抵抗外界的干扰, 满足基础生理需求所致。本研究涉及的恢复期持续时间相对较长, 可更全面地反映运输后企鹅珍珠贝稚贝后期的生理修复情况, 通过内脏团的淀粉酶活性, 可以了解企鹅珍珠贝稚贝在有水运输过程中, 其消化系统受到的应激刺激相对较小, 与实验条件下的无水运输环境相比, 其机体在后期的生长速度较快,

具有较好的消化能力。

3.4 运输方式对企鹅珍珠贝稚贝抗氧化性能的影响

抗氧化系统能清除体内过量的活性氧, 保护机体不受氧化损伤(Suseela *et al*, 2007), 当机体受到胁迫时, 体内 ROS 含量迅速增加, 未被抗氧化系统及时清除的 ROS 逐渐积累, 促使细胞膜脂质过氧化物形成, 从而造成氧化损伤(Sun *et al*, 2011)。SOD、ACP、GOT 和 GPT 活性是常见的评价指标(Rodrigo *et al*, 2009; 邓平等, 2016)。SOD 活性可反映生物体的氧化损伤程度, 活性下降代表着清除能力的下降(Ross *et al*, 2001)。ACP、GOT 和 GPT 活性则可反映机体的抗氧化水平及免疫健康状态(刘慧玲等, 2021)。运输活动一般都会对运输动物的抗氧化酶活力造成一定影响。本研究表明, 企鹅珍珠贝稚贝运输活动后, SOD 活性降低, 与大菱鲂、脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)等运输相关的研究结果较为一致(邓高威等, 2021; 马壮等, 2020), 其原因可能是运输胁迫使机体体内大量自由基积累造成的机体损伤, 从而其抗氧化能力下降(陈成勋等, 2011)。ACP、GPT 和 GOT 活性在本研究中总体呈先上升后下降再上升的趋势, 表明企鹅珍珠贝稚贝在运输过程中, 会因相关因素的胁迫而产生一定程度的应激反应, 而 ACP、GOT 和 GPT 活性的提高会降低机体过氧化应激, 在一定程度上减缓机体的氧化损伤程度(尤宏争等, 2018)。企鹅珍珠贝稚贝在水体的保护下, 其活动空间较大, 贝苗之间不会接触过多。而在无水运输中, 贝苗的活动范围较小, 苗种密度相对较大, 贝苗与贝苗之间容易产生碰撞摩擦, 可能使其产生更强烈的应激。抗氧化酶活性的变化结果表明, 企鹅珍珠贝稚贝在有水运输后的抗氧化性能优于无水运输, 具有更强的抗氧化能力, 健康状况更佳。

4 结论

有水运输和无水运输在一定条件下对企鹅珍珠贝稚贝生长、消化性能、抗氧化性能可产生显著影响, 且运输后需要一定时间进行机体机能的修复。在这 2 种运输方式下, 有水运输效果及后期生理恢复情况相对较好, 具有较高的 SR、生长更好。运输后的企鹅珍珠贝稚贝机体需要一定时间恢复至正常状态, 继而适应或抵抗其他不良环境因素。

参 考 文 献

ARENDS R. The stress response of the gilthead sea bream

- (*Sparus aurata* L.) to air exposure and confinement. *Journal of Endocrinology*, 1999, 163(1): 149–157
- BABIAK I I, GLOGOWSKI J, GORYCZKO K, *et al.* Effect of extender composition and equilibration time on fertilization ability and enzymatic activity of rainbow trout cryopreserved spermatozoa. *Theriogenology*, 2001, 56(1): 177–192
- CARNEIRO P C F, URBINATI E C. Transport stress in matrinxã, *Brycon cephalus* (Teleostei: Characidae), at different densities. *Aquaculture International*, 2002, 10(3): 221–229
- CHEN C X, XING K Z, SUN X L. Effect of acute crowding stress on plasma index of half-smooth tongue-sole. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(1): 229–233 [陈成勋, 邢克智, 孙学亮. 急性拥挤胁迫对半滑舌鳎血液指标的影响. *华北农学报*, 2011, 26(1): 229–233]
- CHEN Z C. Effects of transportation and exhaustion stress on antioxidant capacity and respiratory metabolism of juvenile *Penaeus monodon*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2020 [陈梓聪. 运输与力竭胁迫对增殖放流的斑节对虾幼虾抗氧化能力与呼吸代谢影响, 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2020, 87]
- DAVIS C R, OKIHIRO M S, HINTON D E. Effect of husbandry practices, gender, and normal physiological variation on growth and reproduction of Japanese medaka, *Oryzias latipes*. *Aquatic Toxicology*, 2002, 57(3/4): 185–201
- DENG G W, DUAN J C, WANG Y, *et al.* Effects of air exposure stress on survival rate and response to oxidative stress in ridgetail white prawn *Exopalaemon carinicauda*. *Fisheries Science*, 2021, 40(2): 244–249 [邓高威, 段健诚, 王玉, 等. 干露胁迫对脊尾白虾存活率及氧化应激反应的影响. *水产科学*, 2021, 40(2): 244–249]
- DENG J, ZHANG X, SUN Y, *et al.* Effects of different types of non-starch polysaccharides on growth, digestive enzyme activity, intestinal barrier function and antioxidant activity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Reports*, 2021, 21: 100864
- DENG P P, SHI Y H, WANG Y, *et al.* Effects of salinity on activities of non-specific immune and digestive enzymes in juvenile estuarine tapertail anchovy *Coilia nasus*. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2016, 31(5): 533–537 [邓平平, 施永海, 汪洋, 等. 盐度对长江刀鲚幼鱼非特异性免疫酶和消化酶活力的影响. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(5): 533–537]
- DENG Z H, CHEN M Q, LI Y N, *et al.* Comparison of survival rates of different transport conditions for *Pinctada fucata* juveniles. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2020, 29(1): 36–44 [邓正华, 陈明强, 李有宁, 等. 不同运输条件对合浦珠母贝稚贝存活比较. *上海海洋大学学报*, 2020, 29(1): 36–44]
- FRISCH A J, ANDERSON T A. The response of coral trout (*Plectropomus leopardus*) to capture, handling and transport and shallow water stress. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2000, 23(1): 23–34
- HGLUND E, KORZAN W, TLANDS S, *et al.* Neuroendocrine indicators of allostatic load reveal the impact of environmental acidification in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 2019, 229: 108679
- HUANG Z F, NI G B. Effects of external extrusion and preservation methods on the survival rate of *Procambarus clarkii* larvae of different specifications during transportation. *Fisheries Science and Technology Information*, 2020, 47(4): 230–233 [黄志峰, 倪国彬. 外力挤压和保存方式对不同规格克氏原螯虾苗种运输成活率的影响. *水产科技情报*, 2020, 47(4): 230–233]
- JAMES A S, ELIZABETH A, Nathan K, *et al.* The effects of tagging and transport on stress in juvenile winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*: Implications for successful stock enhancement. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2005, 36(1): 148–156
- LARSSON A, HAUX C, SJOBECK M. Physiological stress responses in a wild fish population of perch (*Perca fluviatilis*) after capture and during subsequent recovery. *Marine Environmental Research*, 1985, 15(2): 77–95
- LI Z M, LIU Z G, DENG H D. Effects of temperature and salinity on clearance rate, filtration rate and absorption efficiency of *Pteria penguin*. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(1): 96–103 [栗志民, 刘志刚, 邓海东. 温度和盐度对企鹅珍珠贝清滤率、滤食率、吸收率的影响. *水产学报*, 2011, 35(1): 96–103]
- LI Z Q, ZHANG D C, WU K C, *et al.* Effects of different algae and autolysis baker yeast on growth and development of *Pteria penguin* larvae. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(8): 128–131 [李治铃, 张殿昌, 吴开畅, 等. 不同饵料组合对企鹅珍珠贝幼虫生长发育的影响. *广东农业科学*, 2012, 39(8): 128–131]
- LIU H L, GUO W J, WANG C J, *et al.* Effects of stocking density on growth, metabolism and immune functions of banana prawn *Fenneropenaeus meiguensis*. *Fisheries Science*, 2021, 40(5): 679–685 [刘慧玲, 郭文俊, 王成桂, 等. 养殖密度对墨吉明对虾生长、代谢和免疫的影响. *水产科学*, 2021, 40(5): 679–685]
- LIU W D, XUE C H, YIN B Z, *et al.* Physiological and biochemical change of *Scophthalmus maximus* kept alive at low temperature with or without water. *Progress in Fishery Sciences*, 2009, 30(5): 69–74 [刘伟东, 薛长湖, 殷邦忠, 等. 低温下大菱鲆有水和无水保活过程中生理生化变化的研究. *渔业科学进展*, 2009, 30(5): 69–74]
- MA Z, TIAN T, WU Z X, *et al.* Preliminary study on the effect of transportation stress on the physiological immunity of *Scophthalmus maximus*. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2020, 26(4): 74–83 [马壮, 田涛, 吴忠鑫, 等. 运输胁迫对大菱鲆生理免疫影响的初步探究. *安徽农学通报*, 2020, 26(4): 74–83]

- QIANG J, YANG H, WANG H, *et al.* Physiological responses and HSP70 mRNA expression in GIFT tilapia juveniles, *Oreochromis niloticus* under short-term crowding. *Aquaculture Research*, 2015, 46(2): 335–345
- ROBERTSON L, THOMAS P, ARNOLD C R. Plasma cortisol and secondary stress responses of cultured red drum (*Sciaenops ocellatus*) to several transportation procedures. *Aquaculture*, 1988, 68(2): 115–130
- RODRIGO F, ROBERTO S, ELSA M, *et al.* Environmental toxicity, oxidative stress and apoptosis: Ménage à Trois. *Mutation Research*, 2009, 674(1/2): 3–22
- ROSS S W, DALTON D A, KRAMER S. Physiological (antioxidant) responses of estuarine fishes to variability in dissolved oxygen. *Comparative Biochemistry Physiology C: Toxicology Pharmacology*, 2001, 130(3): 289–303
- SUN H, WEI Y, CHEN Y, *et al.* Effect of purified microcystin on oxidative stress of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* larvae under different ammonia concentrations. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2011, 39(4/5/6): 536–543
- SUSEELA M, ASHOK K, ANANDAN R, *et al.* Changes in tissue defence system in white spot syndrome virus (WSSSV) infected *Penaeus monodon*. *Comparative Biochemistry Physiology C: Toxicology Pharmacology*, 2007, 145(3): 315–320
- YAN X M, ZHANG X X. Effects of cryopreservation on enzyme activity of *Monopterus albus* spermatozoa. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(5): 882–886 [闫秀明, 张小雪. 超低温冷冻对黄鳝精子中几种酶活性的影响. *水生生物学报*, 2011, 35(5): 882–886]
- YOU H Z, SHI H Y, JIA L, *et al.* Effect of short-distance transportation stress on serum enzyme activity and glucose content of Pearl gentian Grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂). *Journal of Economic Animal*, 2018, 22(2): 72–77 [尤宏争, 石洪玥, 贾磊, 等. 短途运输胁迫对珍珠龙胆石斑鱼血清酶活力及葡萄糖含量的影响. *经济动物学报*, 2018, 22(2): 72–77]
- ZHANG Y. Effects of air exposure and transportation stress on physiological and biochemical indexes and *hsp70* gene expression of parent fish of *Silurus meridionalis*. Master's Thesis of Nanjing Agricultural University, 2016, 84 [张勇. 空气暴露及运输胁迫对美洲鲈亲鱼生理生化指标及 *hsp70* 基因表达的影响. 南京农业大学硕士研究生学位论文, 2016, 84]

(编辑 陈 严)

The Effects of Transportation Modes on the Survival, Growth, Digestion and Antioxidant Capacity of *Pteria penguin* Juveniles

LI Jiaoni¹, ZANG Zhan¹, LIAO Xiurui¹, LI Xi¹, LÜ Bu¹, YANG Shouguo^{1,2,3}, VASQUEZ Herbert Ely^{1,2}, GU Zhifeng^{1,2}, ZHENG Xing^{1,2①}, WANG Aimin^{1,2①}

(1. Ocean College, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. State Key Laboratory of Marine Resource Utilization in South China Sea, Hainan University, Haikou 570228, China; 3. Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou 571126, China)

Abstract At present, the research on the physiological effects of transportation activities on aquatic organisms mainly focuses on fish, crustaceans and echinoderms. There are lacking details for transportation effect on *Pteria penguin*. In order to explore the effects of transportation modes on the survival, growth, digestion and antioxidant properties of *P. penguin* juveniles, this study was carried out under the conditions of transportation with water and without water, respectively. The experiments were carried out under the conditions of two modes of transportation with water and without water for 8 hour, respectively. The water temperature was controlled at (20.0±2.0) °C for transportation with water, while the temperature in the waterless styrofoam box was controlled at (15.0±3.0) °C. The culture was temporarily maintained for 14 days after transportation. The breeding conditions and management methods were basically the same before and after transportation. The water temperature was (27.5±1.0) °C,

① Corresponding author: ZHENG Xing, Email: zhengxing_edu@163.com; WANG Aimin, Email: aimwang@163.com

and the salinity was (31.5 ± 0.5) . Every day change $2/3$ of the water and feed the mixed algae liquid of *Isochrysis zhanjiangensis*, *Chaetoceros muelleri* and *Platymonas subcordiformis*. The survival rates and growth parameters were estimated after 8 h transportation, 7 days and 14 days temporarily maintained, respectively. The *P. penguin* juveniles were sampled before transportation and used as control group, then juveniles were divided into two experimental groups for transportation with and without water respectively. The juveniles from different experimental groups were randomly sampled after transportation. Then, the juveniles were sampled on the 7th day and 14th day of the recovery period. The activity of amylase (AMS), superoxide dismutase (SOD), acid phosphatase (ACP), glutamic-oxalacetic transaminase (GOT), glutamic-pyruvic transaminase (GPT), and the content of cortisol were used as biochemical indicators. The frozen soft tissues were dissected on the ice surface and homogenized on ice in 0.2 mol/L (*w/v*) ice-cold physiological saline, and the homogenates were centrifuged at 2 500 r/min for 10 min. Take the supernatant for enzyme activity determination, and repeat the determination 3 times for each sample. The results showed that the survival rates with water transport and waterless transport were $(98.00\pm 0.57)\%$ and $(97.00\pm 1.00)\%$, respectively. On the 14th day of the recovery period, the survival rates with water transport and waterless transport reached $(97.00\pm 1.00)\%$ and $(82.00\pm 0.71)\%$, respectively. Furthermore, after 14 days recovery, the shell length, shell height and body weight of *P. penguin* in water transport were significantly higher than those in waterless transport ($P<0.05$), while the content of cortisol level was $(1\ 999.50\pm 10.18)$ $\mu\text{g/L}$ in the *P. penguin* transported with water, which was significantly higher than those transported without water [$(1\ 668.46\pm 20.36)$ $\mu\text{g/L}$]. The amylase activity after both transports increased, and on the 14th day of the recovery period, the amylase activity after transport with water increased to (1.56 ± 0.08) U/mg prot, which was significantly higher than (1.06 ± 0.04) U/mg prot with transport without water ($P<0.05$). The activities of GOT and GPT were increased in water transportation, while decreasing in waterless transportation. During the recovery stage, the ACP activity was decreased to (79.56 ± 1.04) U/mg prot at 14th day in water transportation group, while increased to (168.24 ± 3.46) U/mg prot in waterless transportation group. Furthermore, the GOT and GPT activities were trends to increase both in water and waterless transportation, while SOD activity was trend to decrease. The research results show that under certain conditions, water transport and waterless transport can significantly affect the growth, digestion and antioxidant properties of juveniles. Under these two transport modes, the water transport effect and the later physiological recovery are relatively better, with higher survival rate and better growth. After transportation, the body of the *P. penguin* needs a certain period of time to recover to a normal state, and then can be more adaptive to other adverse environmental factors.

Key words *Pteria penguin*; Juveniles; Transportation; Survival; Growth; Digestive performance; Oxidation resistance