

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20210305001

http://www.yykxjz.cn/

李靖, 石莹, 韩兵, 郑炯, 冯若燕. 灯光诱饵技术对深水网箱养殖鱼类品质的影响. 渔业科学进展, 2022, 43(3): 186–195
LI J, SHI Y, HAN B, ZHENG J, FENG R Y. Effect of light trapping technology on fish quality in deep water cage fish culture. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(3): 186–195

灯光诱饵技术对深水网箱养殖鱼类品质的影响*

李靖 石莹 韩兵^① 郑炯 冯若燕

(青岛市渔业技术推广站 山东 青岛 266071)

摘要 为评估太阳能灯光诱饵技术在深水网箱养殖鱼类品质改善方面的应用效果,本研究在青岛金沙湾海域的深水网箱中设计并安装太阳能灯光诱饵设备,通过“灯光诱饵”吸引活体饵料聚集于网箱内,从而为实验大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)和真鲷(*Pagrus major*)提供天然饵料,全程无人工投饵,使其在自然状态下,拟半野生化养殖至上市。大黄鱼、鲈鱼和真鲷经过5个月的实验网箱及传统网箱养殖后,通过测定其脂肪、脂肪酸和氨基酸含量判断其品质。结果显示,在安装灯光诱饵设备的影响下,网箱养殖大黄鱼、鲈鱼和真鲷的感官性状显著好于传统网箱养殖鱼类,11月3种鱼体肥满度比6月均显著下降($P<0.05$)。灯光诱饵网箱养殖大黄鱼和真鲷肌肉内粗脂肪含量分别比传统网箱养殖低75.24%和46.81%,差异极显著($P<0.01$),鲈鱼差异不显著($P>0.05$)。灯光诱饵网箱养殖大黄鱼、鲈鱼和真鲷肌肉内DHA含量高于传统网箱养殖鱼类,差异极显著($P<0.01$);总脂肪酸含量、棕榈酸含量低于传统网箱养殖鱼类,差异极显著($P<0.01$)。灯光诱饵网箱养殖的3种鱼的肌肉内的呈味氨基酸、呈鲜味氨基酸、呈甘味氨基酸、总氨基酸和非必需氨基酸含量均升高,其中大黄鱼变化最显著,实验组比对照组的呈味氨基酸、呈鲜味氨基酸和呈甘味氨基酸含量分别高11.78%、9.17%和19.57%,差异显著($P<0.05$)。研究表明,太阳能灯光诱饵深水网箱养鱼技术虽然降低了养殖鱼类的生长速度,但可以改善养殖鱼类品质,且养殖投入明显降低,养殖收入显著提高,该方法可显著提升产出效益,因此,可作为一种绿色健康养殖模式进行推广应用。

关键词 灯光诱饵系统;深水网箱;鱼类;脂肪;脂肪酸;氨基酸

中图分类号 S967.2 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2022)03-0186-10

深水网箱作为建设现代化海洋牧场的一项重要组成部分,可有效拓展养殖空间,减轻陆基环境压力,提高养鱼质量,提升生产效率,是国家积极倡导的一种绿色、健康、高效的养殖模式,成为助推渔业转型升级,实现高质量发展的重要途径之一。传统深远海网箱模式下,由于自然海域天然饵料无法满足网箱鱼类的饵料需求,因此多采用人工投饵方式进行养殖,并配套相关管理人员和投饵渔船,造成了大量人力、

饲料和能源的投入,同时存在养殖海域环境污染的隐患。在投饵模式下生长的鱼类,由于其索饵耗能少,其在体型和肉质等方面与野生鱼类均存在较大差异(Alsavar *et al.*, 2002; 郭全友等, 2019; 阮成旭等, 2017; 缪伏荣等, 2007; 段青源等, 2000)。随着人们生活水平的提高,对高品质鱼类的需求日益增加。野生鱼类由于具有低脂肪、口感佳的特点而备受青睐,但野生鱼类的捕获量远远无法满足市场需求。因此,

* 青岛市市级财政专项项目(ZFCG2019000740)资助 [This work was supported by Special Financial Projects of Qingdao (ZFCG2019000740)]. 李靖, E-mail: 12296521@qq.com

① 通讯作者: 韩兵, E-mail: yujizhan123@163.com

收稿日期: 2021-03-05, 收修改稿日期: 2021-04-21

亟需探索建立一种提高鱼类品质的新的养殖模式。

水生生物行为学研究表明, 灯光对趋光性的鱼类、虾类、头足类都有明显的诱集作用, 同时也提高了其摄食强度。刘超等(2012)研究发现, 在淡水网箱上方设置照明灯可诱集饵料生物, 提高网箱区饵料生物密度, 满足鱼类摄食需要, 促进生长速度。杜飞雁等(2017)发现, 在海水中灯光诱集对中小型浮游动物群落也产生了较为明显的生态学效应, 灯光可使浮游动物物种丰富度和多样性水平明显提高, 但尚未改变浮游动物的群落结构。本研究基于相关研究设计了灯光诱饵深水抗风浪网箱养鱼技术, 该技术充分利用海水中的中上层鱼类和浮游动植物的趋光特性, 在网箱中安装太阳能光诱饵设备, 夜间通过灯光诱集饵料生物作为饵料源, 成为网箱养殖鱼类竞争性摄食的一种零投饵拟半野生化养殖的新型养殖模式。海水鱼类光谱敏感曲线是短波长范围为 525~530 nm 的绿光, 且根据不同光源在海水中的传播特征(张延青等, 2020), 选择绿色 LED 灯作为光源, 被吸引饵料以玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)群、鲷鱼(*Engraulis japonicus*)群及虾群为主。前期的安装测试结果表明, 在网箱中安装灯光诱饵系统对养殖海域环境无污染(李靖等, 2020), 但安装该系统对养殖鱼类品质的影响尚无相

关报道。

本研究选取我国主要的 3 种海水网箱养殖鱼类[大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)和真鲷(*Pagrus major*)]为研究对象, 在安装有灯光诱饵系统的网箱中进行养殖实验, 以传统投饵网箱为对照组, 测定 2 种不同养殖模式下养殖鱼类肌肉中营养成分(粗脂肪、脂肪酸和氨基酸)的含量并进行营养评价, 进一步分析投入产出比, 为养殖模式的推广应用提供数据参考。

1 材料与方 法

1.1 灯光诱饵深水抗风浪网箱结构及安装布局

灯光诱饵深水网箱周长为 40 m, 由深水网箱、结构框架、浮式平台、太阳能板及水下集鱼灯、缆绳及监控装置组成, 整体结构如图 1 所示。集鱼灯是短波长范围为 525~530 nm 的绿光 LED 灯, 根据光伏板的电压自动感应, 当光伏组件电压低于 DC15 V, 连续时间大于 10 min, 系统默认天黑状态后, 启动水下 LED 灯, 开灯延时 8 h 后, 关闭。以未安装灯光诱捕装置的相同规格的网箱作为对照网箱。实验所用网箱安装在青岛金沙滩外海海域。

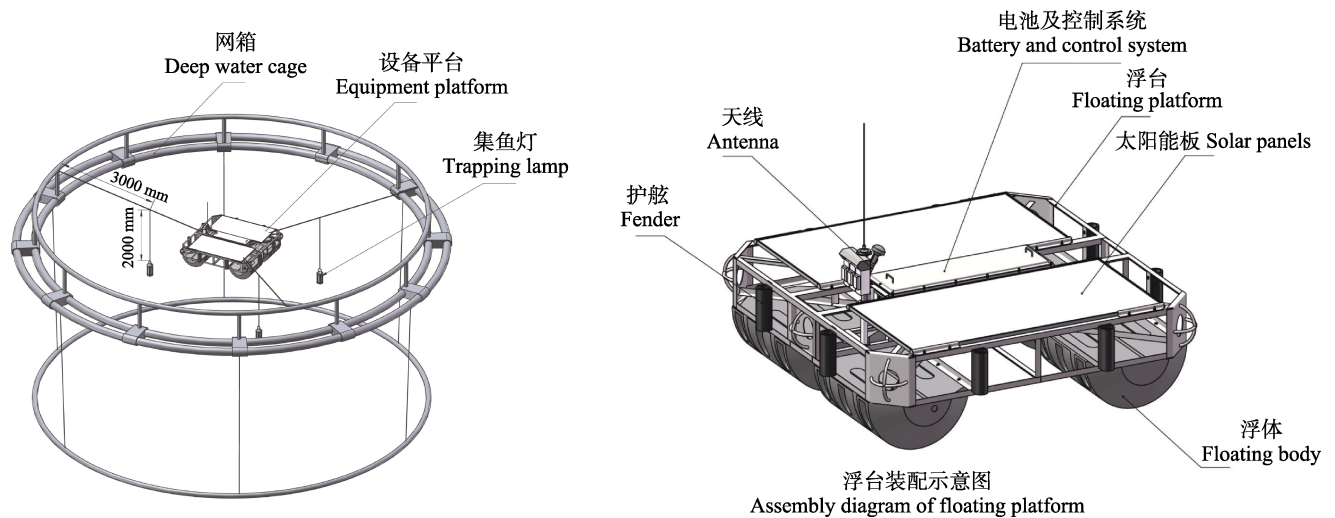


图 1 灯光诱饵系统及网箱装置效果图

Fig.1 Design sketch of deep water cage equipped with light trapping system

1.2 养殖苗种选择、投放与管理

2019年5月27日, 在福建选购健康的大黄鱼、鲈鱼和真鲷的大规格苗种, 苗种规格分别为(807.50±4.32)、(782.00±7.31)和(771.00±6.28) g/尾, 利用活鱼运输船运输至金沙滩海域。5月30日在3个灯光诱饵深水网箱按照养殖密度为 10 kg/m³, 分别投放大黄

鱼、鲈鱼和真鲷的大规格鱼苗, 根据网箱规格计算养殖水体体积, 投放密度分别为 6000、3000 和 3000 尾/箱。同期, 在 3 个对照网箱中按照相同的密度投放相应的大黄鱼、鲈鱼和真鲷鱼苗作为对照组。在养殖管理工艺方面, 3 个灯光诱饵深水网箱不投饵, 而 3 个对照网箱则每天投喂蛋白质含量为 40% 的颗粒饲料, 大黄鱼、鲈鱼和真鲷网箱中的日平均投喂量分别

为 40~60、25~35 和 20~30 kg/d。

1.3 养殖鱼类生长测定与肥满度计算

分别于 2019 年 6 月 8 日、7 月 8 日、9 月 10 日和 11 月 8 日自 3 个实验网箱中各随机抽取 20 尾养殖鱼苗, 观察鱼体形态, 测量鱼苗体长和体重, 按照下列公式计算养殖鱼的肥满度(K):

$$K=(W/L^3)\times 100$$

式中, W 为体重, L 为体长。2019 年 11 月 8 日在对照网箱和实验网箱中随机抽取 3 尾鱼进行解剖, 观察其肝脏形态及腹腔内脂肪的状态。

1.4 养殖鱼的营养品质评价

1.4.1 样品处理 11 月 8 日自实验组和对照组网箱中随机抽取相应养殖鱼 3 尾刮去鱼体鳞片, 剪取其肌肉组织, 取每组每条鱼肌肉 50 g, 充分研磨混合后作为样品, 每组设置 6 个平行。

1.4.2 检测方法 按照 GB5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中第二法酸水解法, 样品经盐酸水解后用无水乙醚提取, 测定脂肪含量; 按照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》, 样品经盐酸水解后, 经过氨基酸分析仪测定氨基酸含量; 采用 GB5009.168-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》第一法内标法, 样品经水解-乙醚提取液提取其中脂肪后, 利用气相色谱仪测定其脂肪酸含量。

1.5 养殖效益分析

实验根据传统网箱养殖模式与灯光诱饵抗风浪网箱养殖模式的投入与产出进行养殖效益分析, 其中, 纯利润值=总收入-总成本; 总成本=苗种费+饲料费+人工费+设备折旧费。

1.6 数据处理和统计分析

实验数据采用单因子方差分析(one-way ANOVA), 多重比较用 Duncan's 进行差异显著性检验, $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著, 结果用平均值±标准误(Mean±SE)表示。

2 结果与分析

2.1 灯光诱饵对养殖鱼生长及肥满度的影响

实验用 3 种鱼苗为人工繁育养殖的大规格鱼苗, 投放前均表现为体型肥大, 鱼肚鼓胀。实验结束时, 经过 5 个月的养殖, 对照网箱鱼体体型肥大, 而灯光诱捕深水网箱养殖的鱼体整体变薄瘦, 体型修长, 其中大黄鱼变化最为显著(图 2)。对实验组和对照组收获的鱼进行解剖, 发现对照组大黄鱼样品存在轻度脂肪肝现象, 肝脏颜色呈粉红色, 而采用灯光诱饵的实验组到 11 月收获时肝脏明显小于实验组, 脂肪肝症状较轻(图 3); 对照组的鲈鱼样品腹内有样如猪板油状脂肪, 而采用灯光诱饵的实验组样品腹内猪板油状脂肪明显较少(图 4)。对实验期 3 种鱼的体长、体重和肥满度的测定结果见图 5、图 6 和图 7, 可以看出: 经过 5 个月的养殖, 大黄鱼、鲈鱼和真鲷 3 种鱼在灯光诱饵深水网箱养殖条件下, 体长分别增加 4.83%、24.94% 和 23.82%, 体重分别增长 2.69%、58.97% 和 31.43%, 肥满度分别降低 23.08%、17.69% 和 29.51%; 在普通网箱养殖条件下, 养殖大黄鱼、鲈鱼和真鲷的体长分别增加 11.41%、29.37% 和 29.36%, 体重分别增长 52.11%、105.85% 和 74.29%, 肥满度分别降低 1.3%、2.76% 和 -3.90%。相比较而言, 在灯光诱饵深水网箱养殖条件下, 养殖鱼类的体长和体重增加率小于对照网箱, 且肥满度大幅降低。



图 2 灯光诱饵网箱养殖大黄鱼体型变化图(A 为对照组, B 为实验组)

Fig.2 Comparison of body shape of *P. crocea* cultured in light trapping technology group and control group (A: Control group; B: Treatment group)

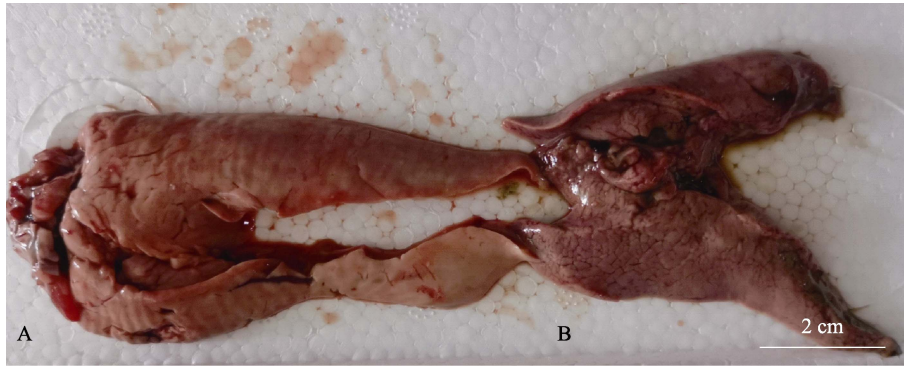


图 3 灯光诱饵网箱养殖前后大黄鱼肝脏解剖图(A 为对照组, B 为实验组)

Fig.3 Comparison of liver of *P. crocea* cultured in light trapping technology group and control group (A: Control group; B: Treatment group)

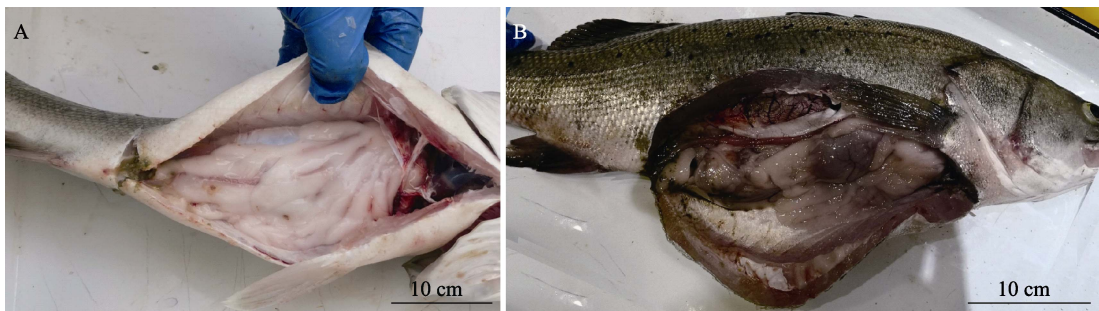


图 4 灯光诱饵网箱养殖前后鲈鱼腹内油状脂肪比较(A 为对照组, B 为实验组)

Fig.4 Comparison of intraperitoneal fat of *L. japonicus* cultured in light trapping technology group and control group (A: Control group; B: Treatment group)

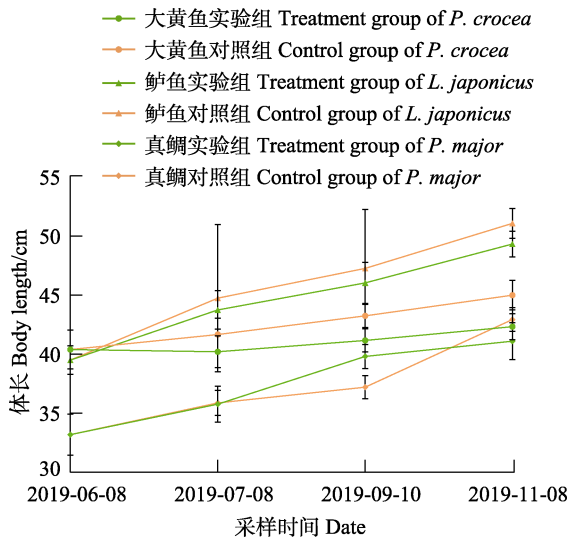


图 5 实验期内 3 种养殖鱼的体长增长

Fig.5 Increase of body length of the three test fish species during the experiment

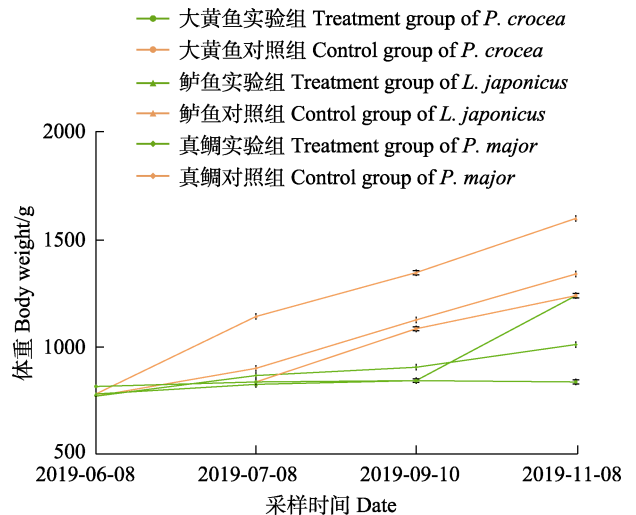


图 6 实验期内 3 种养殖鱼的体重增长

Fig.6 Increase of body weight of the three test fish species during the experiment

2.2 灯光诱饵对养殖鱼肌肉脂肪含量的影响

对照网箱和灯光诱饵网箱养殖的 3 种鱼的肌肉脂肪含量测定结果见表 1。由表 1 可以看出, 与对照组采用人工投喂的网箱养殖鱼相比, 采用灯光

诱饵模式养殖的大黄鱼和真鲷肌肉的脂肪含量分别为(2.60±0.03)和(2.60±0.02) g/100 g, 分别比传统网箱养殖大黄鱼和真鲷脂肪含量低 75.24%和 46.81%, 差异极显著($P<0.01$); 而 2 种养殖模式下鲈鱼肌肉的脂肪含量差异不显著($P>0.05$)。

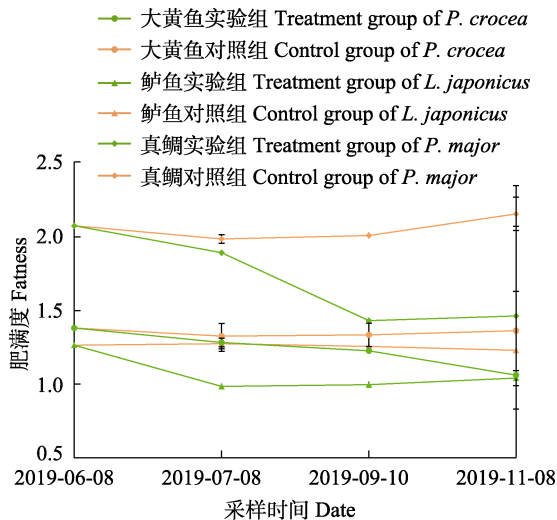


图7 实验期内3种鱼的肥满度变化

Fig.7 Changes of fatness of the three test fish species during the experiment

表1 养殖鱼类肌肉内脂肪含量

Tab.1 Intramuscular fat content of the cultured fishes

鱼种 Fish species	测试结果 Test result/(g/100 g)	
	对照组 Control group	实验组 Treatment group
大黄鱼 <i>P. crocea</i>	10.5±0.095	2.6±0.03**
鲈鱼 <i>L. japonicus</i>	1.5±0.07	1.5±0.04
真鲷 <i>P. major</i>	4.7±0.04	2.5±0.02**

注：对照组为普通网箱养殖鱼类，实验组为灯光诱饵深水网箱养殖鱼类，*表示实验组数据与对照组相比差异显著($P<0.05$)，**表示实验组数据与对照组相比差异极其显著($P<0.01$)。下同

Notes: In the control group, fish were cultured in common cage. In the experimental group, fish were cultured in deep water cage with light trapping. * indicates that there are significant differences between the treatment group and the control group ($P<0.05$); ** indicates that there are highly significant differences between the treatment group and the control group ($P<0.01$). The same as below

2.3 灯光诱饵对养殖鱼肌肉脂肪酸含量的影响

对2种模式下养殖的3种鱼的脂肪酸检测结果见表3，大黄鱼、鲈鱼和真鲷分别检测出脂肪酸20、14和18种，3种养殖鱼体内十四碳酸(C14:0，豆蔻酸)、十六碳酸(C16:0，棕榈酸)、顺-9-十八碳一烯酸甲酯(C18:1n-9)和顺4, 7, 10, 13, 16, 19, 17-二十二碳六烯酸(C22:6n3, DHA)含量比重较高。经过5个月养殖，实验组大黄鱼、鲈鱼和真鲷的十六碳酸含量比对照组分别降低79%、97%和75%，差异极显著($P<0.01$)；

DHA含量分别比对照组升高3.7、24和10倍，差异极显著($P<0.01$)；总脂肪酸含量比对照组分别降低51%、87%和62%，差异极显著($P<0.01$)。

2.4 灯光诱饵对养殖鱼肌肉的氨基酸含量的影响

对2种模式下养殖的3种鱼肌肉氨基酸含量测定结果见表3。本研究中，3种鱼的肌肉内共检测到16种氨基酸，氨基酸总含量大小依次为真鲷>鲈鱼>大黄鱼；肌肉内各呈味氨基酸含量从高到低依次为谷氨酸(Glu)、天冬氨酸(Asp)、丙氨酸(Ala)、精氨酸(Arg)、甘氨酸(Gly)。经过5个月的养殖，3种鱼肌肉内的呈味氨基酸、呈鲜味氨基酸、呈甘味氨基酸、总氨基酸、非必需氨基酸含量均升高，其中变化最显著的是大黄鱼，实验组比对照组的呈味氨基酸、呈鲜味氨基酸及呈甘味氨基酸含量分别高11.78%、9.17%和19.57%，差异显著($P<0.05$)。

2.5 养殖效益分析

2种模式下养殖的3种鱼的效益对比结果见表4。本研究在5月购进规格为0.50~0.75 kg的大黄鱼鱼种12000尾、鲈鱼鱼种6000尾、真鲷鱼种6000尾，总计24000尾，每种鱼分别平均置于普通网箱和灯光诱饵深水网箱中养殖。鱼苗购进价均为48元/kg，普通养殖模式下商品鱼大黄鱼、鲈鱼和真鲷的价格分别为60、60和76元/kg，纯利润分别为13.15、9.55和6.68万元。而灯光诱饵抗风浪网箱养殖模式下所养殖的鱼类由于体型和口感均优于投饵方式养殖的鱼类，其售出单价高于普通投饵养殖模式，商品大黄鱼、鲈鱼和真鲷的售价分别为120、100和120元/kg，纯利润分别为35.47、23.21和23.64万元。由此可见，在灯光诱饵抗风浪网箱养殖模式下3种鱼的经济效益均高于普通网箱养殖模式。

3 讨论

3.1 灯光诱饵光谱选择及其对养殖鱼生长和体型的影响

在养殖过程中，鱼体的形态、肥瘦等体表特征可直接体现鱼的品质，对鱼类的养殖起到直观的反馈。段青源等(2000)研究发现，野生大黄鱼较养殖大黄鱼体型更瘦长，且养殖大黄鱼的肝体比较野生大黄鱼偏大，这与Mairesse等(2005)发现的密集型养殖条件下鲈鱼肝体比较高的结果一致。沈伟良等(2017)年研究发现，改变养殖环境水流、养殖空间大小、饲料可在一定程度上实现养殖大黄鱼的形态改良。本研究中，3种鱼体长和体重均增长，肥满度降低，达到“瘦身”

改良作用。大黄鱼 11 月体重略有下降, 分析原因可能是天气渐冷, 养殖鱼进食量减少, 可食用的浮游生物也在减少, 鱼摄食不足, 经常处于饥饿或半饥饿状态, 但 3 种鱼肥满度降低说明鱼瘦身成功, 从表观上达到比较理想的状态。解剖发现, 灯光诱饵组养殖鱼的肝脏颜色和大小正常, 说明灯光诱饵养殖可达到模拟野生生长的效果。本研究选取绿色光源光谱作为灯光诱饵的光谱。近年来, 陆续有研究表明, 在不同光谱影响下, 鱼类肌肉品质存在差别。吴亮等(2016)研究发现, 绿光环境有利于豹纹鳃棘鲈(*Plectropomus leopardus*)幼鱼的摄食、生长和存活。刘松涛等(2021)

发现, 绿色 LED 光谱对红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)幼鱼的生长发育具有良好的促进作用, 绿色光谱影响下的红鳍东方鲀的体重、饲料转化率和消化酶活性都高于红、黄、蓝、白光谱。费凡等(2019)用全光谱光、蓝光、绿光、黄光和红光实验发现, 绿光对欧洲舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)营养品质有着促进作用, 其脂肪含量、氨基酸含量、多不饱和脂肪酸、DHA 和二十碳五烯酸(EPA)含量均高于其他光谱组。以上研究说明, 绿光光谱能促进海水鱼类的养殖品质。本研究的绿色灯光诱饵系统可能对 3 种鱼的养殖品质改善起到一定的促进作用。

表 2 养殖鱼肌肉内脂肪酸含量
Tab.2 Fatty acid contents in muscle of cultured fishes

测试指标 Test items	测试结果 Test results/(g/100 g)					
	大黄鱼 <i>P. crocea</i>		鲈鱼 <i>L. japonicus</i>		真鲷 <i>P. major</i>	
	实验组 Treatment group	对照组 Control group	实验组 Treatment group	对照组 Control group	实验组 Treatment group	对照组 Control group
十四碳酸 C14:0	0.12±0.01*	0.28±0.02	0.06±0.01	0.04±0.01	0.05*±0.01	0.13±0.01
十五碳酸 C15:0	0.01±0.01	0.03±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01
十六碳酸(棕榈酸) C16:0	0.61±0.02**	2.91±0.06	0.20±0.01**	10.22±0.03	0.20±0.01**	0.79±0.04
顺-9 十六碳一烯酸 C16:1	0.44±0.11*	1.27±0.21	0.08±0.012	0.07±0.01	0.05±0.02*	0.20±0.03
十七碳酸 C17:0	0.03±0.01	0.04±0.01	0	0	0.01±0.01	0.02±0.01
顺-10 十七碳一烯酸 C17:1	0.02±0.01	0.06±0.02	0	0	0	0.01±0.01
十八碳酸 C18:0	0.23±0.03	0.47±0.08	0.03±0.01	0.04±0.02	0.06±0.02*	0.25±0.04
顺-9 十八碳一烯酸 C18:1	0.81±0.02*	0.20±0.03	0.17±0.03	0.2±0.01	0.18±0.02	0.81±0.05*
顺,顺-9, 12-十八碳二烯酸 C18:2n6c	0.19±0.02*	0.70±0.02	0.02±0.01	0.05±0.01	0.02±0.01	0.17±0.03*
二十碳酸 C20:0	0.01±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01
顺-11-二十碳一烯酸 C20:1	0.08±0.02	0.10±0.02	0.03±0.01	0.01±0.01	0.03±0.01	0.04±0.01
顺,顺,顺-9, 12, 15-十八碳三烯酸 C18:3n3	0.10±0.03	0.12±0.02	0.01±0.01	0.02±0.01	0.01±0.01	0.10±0.02
二十一碳酸 C21:0	0.02±0.01	0.05±0.01	0.02±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01
顺,顺,顺-11, 14-二十碳二烯酸 C20:2	0.02±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01
二十二碳酸 C22:0	0.02±0.01	0.02±0.01	0	0.01±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01
顺 11, 14, 17-二十碳三烯酸 C20:3n3	0.05±0.01	0.05±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01	0	0.07±0.02
顺 5,8,11,14,-二十碳四烯 C20:4n6	0.07±0.01	0.17±0.03	0.01±0.01	0.02±0.01	0.01±0.01	0.04±0.01
二十三碳酸 C23:0	0.03±0.01	0.07±0.02	0	0.02±0.01	0.01±0.01	0.05±0.02
顺 5, 8, 11, 14, 17-二十碳五烯酸 C20:5n3	0.24±0.05	0.41±0.11	0.08±0.02	0.06±0.02	0.05±0.01	0.23±0.05
顺 4, 7, 10, 13, 16, 19, 17-二十二碳六烯酸 C22:6n3DHA	0.43**±0.03	0.09±0.01	0.51±0.05**	0.02±0.01	0.44±0.04**	0.04±0.02
脂肪酸总含量 Total fatty acid content	3.50**±0.52	7.09±0.76	1.33±0.28**	10.78±1.67	1.14±0.13**	2.98±0.21

注: 十四碳酸为豆蔻酸, 十六碳酸为棕榈酸, 顺 4, 7, 10, 13, 16, 19, 17-二十二碳六烯酸(C22:6n3)为 DHA

Notes: Tetradecanoic acid is myristic, Hexadecenoic acid is palmitic acid, and cis-4, 7, 10, 13, 16, 19, 17-docosahexaenoic acid (c22:6n3) is DHA

表3 养殖鱼类肌肉内氨基酸含量
Tab.3 Amino acid contents in muscle of cultured fishes

测试指标 Test items	测试结果 Test result/(g/100 g)					
	大黄鱼 <i>P. crocea</i>		鲈鱼 <i>L. japonicus</i>		真鲷 <i>P. major</i>	
	实验组 Treatment group	对照组 Control group	实验组 Treatment group	对照组 Control group	实验组 Treatment group	对照组 Control group
天冬氨酸 Asp	1.88±0.18	1.73±0.16	1.97±0.09	1.92±0.16	2.07±0.21	1.96±0.17
谷氨酸 Glu	3.00±0.10	2.74±0.21	3.21±0.16	3.13±0.21	3.16±0.32	2.98±0.20
甘氨酸 Gly	0.96±0.16	0.79±0.14	1.03±0.11	0.9±0.15	0.95±0.15	0.82±0.04
丙氨酸 Ala	1.24±0.20	1.05±0.11	1.26±0.13	1.05±0.20	1.17±0.21	1.22±0.15
精氨酸 Arg	1.08±0.18	1.00±0.14	1.17±0.20	1.14±0.08	1.17±0.20	1.17±0.13
丝氨酸 Ser	0.71±0.05	0.63±0.06	0.77±0.07	0.72±0.06	0.77±0.06	0.68±0.05
苏氨酸 Thr	0.82±0.09	0.76±0.09	0.87±0.05	0.85±0.07	0.91±0.10	0.88±0.04
缬氨酸 Val	0.84±0.14	0.82±0.02	0.87±0.09	0.84±0.07	0.97±0.06	0.96±0.06
异亮氨酸 Ile	0.85±0.11	0.78±0.12	0.85±0.10	0.86±0.11	0.95±0.12	0.91±0.04
亮氨酸 Leu	1.38±0.20	1.29±0.10	1.45±0.14	1.44±0.15	1.53±0.21	1.51±0.13
苯丙氨酸 Phe	0.7±0.08	0.64±0.07	0.73±0.20	0.71±0.13	0.76±0.22	0.74±0.10
赖氨酸 Lys	1.72±0.19	1.62±0.11	1.98±0.21	1.83±0.20	1.96±0.23	1.86±0.14
酪氨酸 Tyr	0.60±0.12	0.57±0.09	0.59±0.05	0.61±0.11	0.65±0.14	0.66±0.11
组氨酸 His	0.43±0.08	0.41±0.08	0.53±0.12	0.45±0.15	0.54±0.05	0.53±0.02
脯氨酸 Pro	0.84±0.13	0.59±0.10	0.82±0.05	0.26±0.07	0.98±0.13	0.39±0.01
蛋氨酸 Met	0.59±0.07	0.54±0.06	0.58±0.03	0.6±0.11	0.63±0.18	0.59±0.06
呈鲜味氨基酸 UAA	4.88±0.30*	4.47±0.41	5.18±0.17*	5.05±0.24	5.23±0.34	4.95±0.32
呈甘味氨基酸 SAA	2.20±0.20*	1.84±0.22	2.29±0.04	1.95±0.25	2.12±0.22	2.04±0.32
呈味氨基酸 FAA	8.16±0.48*	7.30±0.51	8.64±0.80	8.14±0.58	8.52±0.57	8.16±0.35
总氨基酸 TAA	17.63±0.20*	15.96±0.56	18.68±1.02	17.31±0.95	19.17±1.30*	17.87±1.32
必需氨基酸 EAA	6.31±1.0	5.92±0.73	6.75±0.70	6.53±1.35	7.08±1.52	6.86±0.92
非必需氨基酸 NEAA	11.02±0.69*	10.04±0.81	11.93±0.65*	10.78±1.01	12.09±1.80*	11.01±1.06

注：呈味氨基酸包括 Asp、Glu、Arg、Ala、Gly；呈鲜味氨基酸为 Glu 和 Asp；呈甘味氨基酸为 Gly 和 Ala

Notes: Flavor amino acids include Asp, Glu, Arg, Ala and Gly; Umami amino acids include Glu and Asp; Sweet amino acids include Gly and Ala

表4 2种模式鱼类养殖效益对比表
Tab.4 Comparison of the profits of two fish farming patterns/RMB

成本和利润 Cost and profits	大黄鱼 <i>P. crocea</i>		鲈鱼 <i>L. japonicus</i>		真鲷 <i>P. major</i>	
	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组
	Treatment group	Control group	Treatment group	Control group	Treatment group	Control group
苗种费 Fry cost	230 000	230 000	110 000	110 000	110 000	110 000
饲料费 Feed cost	0	61 710	0	59 677	0	41 527
人工费 Labor cost	11 800	20 730	11 800	20 730	11 800	20 730
设备折旧费 Equipment depreciation	6100	2500	6100	2500	6100	2500
总成本 Ttotal cost	247 900	314 940	127 900	192 907	127 900	174 757
总收入 Total revenue	602 600	446 400	360 000	288 400	364 300	241 600

3.2 灯光诱饵对养殖鱼肌肉脂肪含量影响及营养评价

段青源等(2000)研究表明, 养殖大黄鱼的体脂肪含量比野生大黄鱼的高出 1.9 倍。陈度煌等(2019)研究表明, 养殖大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)肌肉内粗脂肪含量显著高于野生鱼。采用普通网箱养殖的鱼类肌肉脂肪含量较高, 这与常规网箱养殖饲料脂肪含量高且投喂充足、养殖密度过大直接相关。Watanabe 等(1982)首次提出, 鱼体脂肪一般会随着饲料脂肪含量的增加而升高。张显娟等(2001)研究也发现, 高脂肪含量的饲料会导致鱼体脂肪含量升高, 另一方面作为饵料的鲜冻小杂鱼饲料很难保证其新鲜度, 脂肪氧化和环境恶化都将导致肝脏损害, 诱发脂肪肝, 这也是养殖鱼类脂肪含量较高的原因之一。而野生大黄鱼生活在广阔的海洋, 捕食活的小鱼, 这不仅保证食物的新鲜度, 且由于活跃的捕食活动, 增加了能量消耗, 因此脂肪在体内积累减少, 肌肉脂肪含量明显降低。本研究中, 灯光诱饵装置的网箱中无人工投饵, 通过灯光吸引杂鱼小虾到网箱中, 养殖鱼类通过捕捉这些活的鱼虾为食。利用这一方式, 网箱养殖的鱼类不仅改变了食物的种类, 同时消耗了能量, 避免了脂肪的堆积, 因此大黄鱼和真鲷肌肉内脂肪含量变化与普通网箱养殖组差异极显著($P<0.01$)。而本研究中的鲈鱼肌肉内脂肪含量改变不显著, 分析原因可能是鲈鱼腹内脂肪堆积过多, 在进行半饥饿野化瘦身时, 首先消耗腹内脂肪, 具体结果还有待进一步研究。

3.3 灯光诱饵对养殖鱼类肌肉脂肪酸含量影响及营养评价

脂肪酸在有充足氧供给的情况下, 可氧化分解为 CO_2 和 H_2O , 释放大能量, 是机体主要能量来源之一。DHA 是一种不饱和脂肪酸, 主要来源于海藻和鱼类, 是最重要的膜磷脂成分, 影响神经递质通路、突触传递和信号转导, 可保护机体免受氧化损伤。研究表明, 鱼肉脂肪酸含量较低, 且多为不饱和脂肪酸, 是人类优质的脂肪酸来源之一。研究结果显示, 采用灯光诱饵模式养殖的 3 种鱼类肌肉脂肪酸中十六碳酸、十八碳酸及 DHA 含量与对照组相比差异显著($P<0.01$), 与段青源(2000)、颜孙安等(2015)研究结果一致。推测, 这可能是因为灯光诱饵网箱内的鱼能捕捉到更多富含多不饱和脂肪酸的海洋活饵料, 因此其 DHA 等多不饱和脂肪酸含量增加。EPA 和花生四烯酸的含量并无显著性差异, 但 3 种鱼对照组的花生四烯酸含量均高于实验组, 推测原因可能是由于配合饲

料中添加了花生四烯酸。由此可以看出, 本研究中的 3 种鱼自南方传统投饵网箱养殖北运至青岛进行半饥饿野化瘦身之后, 体内 DHA 含量显著增加、棕榈酸含量显著减少, 这种模式下养殖获得的鱼类品质更加优良, 对人体更有益。因此, 灯光诱饵网箱养殖是一种更利于人类饮食健康的养殖方式。

3.4 灯光诱饵对养殖鱼肌肉氨基酸含量影响及营养评价

氨基酸是蛋白质的最基本单位, 通常分为必需氨基酸和非必需氨基酸。研究表明, 食品味道鲜美的程度主要由其呈味氨基酸(包括 Asp、Glu、Arg、Ala 和 Gly)的组成和含量所决定。近年来研究表明, 网箱养殖大黄鱼呈味氨基酸总量、氨基酸含量显著低于野生大黄鱼(颜孙安, 2015; 阮成旭等, 2017), 从而导致普通网箱养殖鱼类会出现土腥味, 口感不佳。刘峰等(2018)研究发现, 饥饿可对大黄鱼幼鱼的氨基酸和脂肪酸含量造成影响, 并提出通过适当的饥饿处理可改变肌肉中氨基酸和脂肪酸含量, 并改善大黄鱼的肉质风味的策略。3 种鱼实验组和对照组相比呈味氨基酸、呈鲜味氨基酸、呈甘味氨基酸及总氨基酸含量均显著提高($P<0.05$), 这是由于本研究中的鱼类通过灯光诱饵获取活体食物, 自然饵料丰度不足, 鱼类处于半饥饿状态, 可能会改变其氨基酸含量及种类比重, 从而改善其口感, 进一步说明这种养殖模式可提高养殖鱼类的食用品质。

3.5 经济效益与社会效益

本研究通过灯光诱饵的方法, 改变传统网箱养殖投喂冰鲜杂鱼和配合饲料的养殖模式, 与普通网箱养殖模式相比, 养殖鱼类生长速度有所降低, 但全程零投饵降低了养殖成本, 提高了养殖鱼的品质, 养殖商品鱼的单价显著高于普通投饵养殖鱼类。另外, 由于养殖过程中不需要人工投饵, 饲料成本和人工成本均显著降低, 因此, 灯光诱饵模式养殖的鱼类总体收益显著高于普通养殖模式, 更加符合目前“提质增效”的养殖理念。同时, 此种养殖模式作为海洋牧场的组成部分, 还可促进海洋牧场的多元化、健康发展, 示范带动效应强, 高质量发展特征明显; 另外, 养殖鱼类捕捉活体饵料, 避免了野生杂鱼的滥捕、颗粒饵料对养殖海区及周围海区的污染, 符合“绿色生态”水产养殖新理念的要求。

综上所述, 利用太阳能灯光诱饵深水网箱养殖模式可为养殖鱼类模拟野生环境捕食状态。由于养殖全程不投喂饵料, 鱼类经过半饥饿野化瘦身, 成品鱼体

型修长, 肥满度降低, 脂肪含量降低, 且鱼肌肉内总氨基酸含量、呈味氨基酸含量、呈鲜味氨基酸含量、呈甘味氨基酸含量和 DHA 含量均升高; 口感提升, 采用此方法养殖的鱼类品质高于普通网箱养殖鱼类, 养殖效益也显著提升, 此种养殖模式可作为一种绿色健康养殖模式进行推广。

参 考 文 献

- ALASALVAR C, TAYLOR K D A, ZUBCOV E, *et al.* Differentiation of cultured and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Total lipid content, fatty acid and trace mineral composition. *Food Chemistry*, 2002, 79(2): 145–150
- CHEN D H, HE G S, LIU Y H, *et al.* Comparison of muscle nutrients between wild and cultured *Micropterus salmoides*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(22): 94–96, 115 [陈度煌, 何国森, 刘银华, 等. 野生与养殖大口黑鲈肌肉营养成分的比较. *安徽农业科学*, 2019, 47(22): 94–96, 115]
- DU F Y, WANG L G, WANG X H, *et al.* Effects of light trap on meso-and micro-zooplankton communities in the waters of Nansha Islands, South China Sea. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(4): 556–565 [杜飞雁, 王亮根, 王雪辉, 等. 灯光诱集对中小型浮游动物群落的生态学效应. *水产学报*, 2017, 41(4): 556–565]
- DUAN Q Y, ZHONG H Y, SI L G, *et al.* Comparative analyses of biochemical composition in net cultured and wild *Pseudosciaena crocea* (Richardson). *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2000, 19(2): 125–128 [段青源, 钟惠英, 斯列刚, 等. 网箱养殖大黄鱼与天然大黄鱼营养成分的分析比较. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2000, 19(2): 125–128]
- FEI F, REN J L, DAI M Y, *et al.* Effects of five kinds of light color environments on nutritional quality of *Dicentrarchus labrax*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(5): 2431–2441 [费凡, 任纪龙, 代明允, 等. 5 种光色环境对欧洲舌齿鲈营养品质的影响. *动物营养学报*, 2019, 31(5): 2431–2441]
- GUO Q Y, XIN X L, JIANG C J, *et al.* Quality characteristics and differences of wild and cultured large yellow croakers (*Larimichthys crocea*). *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(10): 92–101 [郭全友, 邢晓亮, 姜朝军, 等. 野生和养殖大黄鱼(*Larimichthys crocea*)品质特征与差异性探究. *现代食品科技*, 2019, 35(10): 92–101]
- LI J, SHI Y, ZHENG J, *et al.* Impact of light bait deep-water anti-wind and wave cage fish culture technology on the environment of aquaculture sea area. *China Fisheries*, 2020(7): 61–63 [李靖, 石莹, 郑炯, 等. 灯光诱饵深水抗风浪网箱养鱼技术对养殖海域环境的影响. *中国水产*, 2020(7): 61–63]
- LIU C, JI H, WANG T, *et al.* Feeding experiment of cage reared paddlefish with light trapping techniques. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2012, 33(5): 59–62 [刘超, 吉红, 王涛等. 基于网箱灯光诱饵技术的匙吻鲟养殖试验. *家畜生态学报*, 2012, 33(5): 59–62]
- LIU F, LÜ X K, LIU Y Y, *et al.* Effect of starvation on amino acids and fatty acids of juvenile *Larimichthys crocea*. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(5): 58–65 [刘峰, 吕小康, 刘阳阳, 等. 饥饿对大黄鱼幼鱼肌肉中氨基酸和脂肪酸组成的影响. *渔业科学进展*, 2018, 39(5): 58–65]
- LIU S T, LI Y H, LI X, *et al.* Effects of LED spectra on growth, feeding, and digestive enzyme activities of juvenile *Takifugu rubripes*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(8): 1011–1019 [刘松涛, 李伊晗, 李鑫, 等. 不同 LED 光谱对红鳍东方鲀幼鱼生长发育、摄食及消化酶活性的影响. *中国水产科学*, 2021, 28(8): 1011–1019]
- MAIRESSE G, THOMAS M, GARDEUR J N, *et al.* Appearance and technological characteristics in wild and reared Eurasian perch, *Perca fluviatilis* (L.). *Aquaculture*, 2005, 246(1/2/3/4): 295–311
- MIAO F R, LIU J, WANG D H, *et al.* Meat quality of *Pseudosciaena crocea* cultivated by different methods. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 22(4): 372–377 [缪伏荣, 刘景, 王淡华, 等. 不同养殖模式大黄鱼肉质性状的分析研究. *福建农业学报*, 2007, 22(4): 372–377]
- RUAN C X, YUAN C G, TAO C L, *et al.* Influence of culture patterns on flesh quality of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*. *Fisheries Science*, 2017, 36(5): 623–627 [阮成旭, 袁重桂, 陶翠丽, 等. 不同养殖模式对大黄鱼肉质的影响. *水产科学*, 2017, 36(5): 623–627]
- SHEN W L, WU X F, SHENTU J K, *et al.* The effects of different diets and culture. Environments on the morphological variations in the large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(6): 70–77 [沈伟良, 吴雄飞, 申屠基康, 等. 不同饵料及养殖环境对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)形态差异的影响. *渔业科学进展*, 2017, 38(6): 70–77]
- WATANABE T. Lipid nutrition in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 1982, 73(1): 3–15
- WU L, WU H X, MA J Z, *et al.* Effect of light color on feeding, growth, and survival of *Plectropomus leopardus* juveniles. *Marine Sciences*, 2016, 40(11): 44–51 [吴亮, 吴洪喜, 马建忠, 等. 光色对豹纹鳃棘鲈幼鱼摄食、生长和存活的影响. *海洋科学*, 2016, 40(11): 44–51]
- YAN S A, YAO Q H, LIN X X, *et al.* Nutrient profile of large yellow croakers (*Pseudosciaena crocea* Richardson) grown under different aquacultural settings. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 30(8): 736–744 [颜孙安, 姚清华, 林香信, 等. 不同养殖模式大黄鱼肌肉营养成分比较. *福建农业学报*, 2015, 30(8): 736–744]
- ZHANG Y Q, QIN F, FEI F, *et al.* Analysis of propagation

characteristics of LED light source in aquaculture water. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(1): 153–161 [张延青,

秦菲, 费凡, 等. LED 光源在海水养殖水体中传播特征解析. 渔业科学进展, 2020, 41(1): 153–161]

(编辑 马璀璨)

Effect of Light Trapping Technology on Fish Quality in Deep Water Cage Fish Culture

LI Jing, SHI Ying, HAN Bing^①, ZHENG Jiong, FENG Ruoyan
(Qingdao Fishery Technology Extension Station, Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract To study the influence of light trapping technology on the quality of fishes cultured in deep-water cages, light trapping equipment was designed and installed in deep-water cages in Qingdao. Light trapping equipment involves green LED light (wavelength 525~530 nm) installed on the cage to attract live prey in the sea, providing natural food for the cultured fishes inside the cage. In this study, three important fish species were selected: *Pseudosciaena crocea*, *Lateolabrax japonicus*, and *Pagrosomus major*. Since there were no artificial feedings throughout the culture period, the fishes are in a semi-wild growth state. The quality of the cultured fish was determined by measuring the fat, fatty acid, and amino acid content of the specimens in the treatment cages (equipped with light trapping equipment) and traditional cages (with artificial feedings and without light trapping equipment) after a 5-months' culture period. The results showed that the sensory characteristics of *P. crocea*, *L. japonicus*, and *P. major* in the treatment cages were significantly better than the fishes in traditional cages. The body fat of the three fishes cultured by light trapping technology were significantly lower than those of the control groups ($P<0.05$). The crude fat contents in the muscles of *P. crocea* and *P. major* cultured in treatment cages was 75.24% and 46.81%, which were significant lower than those of traditional cage culture fishes ($P<0.01$). There was no significant difference in the crude fat content in the muscle of *L. japonicus* ($P>0.05$). The docosahexaenoic acid content in the muscles of *P. crocea*, *L. japonicus*, and *P. major* in treatment cages were extremely significant higher than those in fishes cultured in traditional cages ($P<0.01$). Moreover, the total fatty acid content and palmitic acid content were significantly lower than those in fishes cultured in traditional cages ($P<0.01$). Under the influence of light trapping equipment, the indices including the contents of taste amino acids, umami amino acids, sweet amino acids, total amino acids, and non-essential amino acids in the muscles of the three fish species in the treatment group were significantly higher than those of the traditional groups ($P<0.05$). And the contents of flavored amino acids, umami flavored amino acids and sweet flavored amino acids in *P. crocea* in the treatment groups increased 11.78%, 9.17%, and 19.57% than those in traditional groups. Moreover, the difference was significant. All the results show that although the deep-water net cage fish culture technology with light trapping reduces the growth rate of cultured fish, but it can improve the fish quality and increase output efficiency. The system could be used to promote and apply a green and healthy aquaculture model.

Key words Light trapping system; Deep water cage; Fish; Fat; Fatty acid; Amino acid

① Corresponding author: HAN Bing, E-mail: yujizhan123@163.com