

DOI: 10.11964/jfc.20220713594



基于鱼类生长特征和营养成分视角分析豹纹鳃棘鲈增殖放流水域的适宜性

刘倩^{1,2}, 吕少梁¹, 陈宁¹, 王学锋^{1,2*}

1. 广东海洋大学水产学院, 广东湛江 524088; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江), 广东湛江 524025)

第一作者: 刘倩, 从事渔业生态与环境保护研究, E-mail: 1399160848@qq.com

摘要:

【目的】开发一种评估鱼类增殖放流水域适宜性的方法。

【方法】通过放流小批量的豹纹鳃棘鲈到自然水域中, 基于回捕群体和养殖群体的生长特征及肌肉营养成分分析, 来反推、评估增殖放流水域的生境适宜性。

【结果】豹纹鳃棘鲈的回捕群体与养殖群体均呈等速生长, 回捕群体的生长条件因子 a 值大于养殖群体, 肥满度亦大于养殖群体; 二者肌肉中水分、粗灰分、粗蛋白、粗脂肪、必需氨基酸含量和氨基酸总量差异不显著。豹纹鳃棘鲈回捕群体的肌肉中单不饱和脂肪酸、C20:4n6、C20:5n3、C22:6n3 含量显著高于养殖群体。豹纹鳃棘鲈回捕与养殖群体的肌肉中除锰和硒外, 其他元素含量均差异不显著。豹纹鳃棘鲈回捕群体的肌肉中铅含量显著低于养殖群体, 其他重金属差异不显著。

【结论】放流海域的生境条件能保证各项营养物质的均衡和积累, 满足豹纹鳃棘鲈生长发育的需求。本实验验证了基于生长特征和营养成分视角分析增殖放流水域适宜性的可行性, 并形成了该方法的流程图, 为今后评估鱼类增殖放流水域的适宜性提供了一种新思路, 亦可引申至其他水生生物种类。

关键词: 豹纹鳃棘鲈; 增殖放流; 增殖水域适宜性; 生长特征; 营养成分

在过度捕捞、气候变化、环境污染等多重压力下, 全球海洋渔业资源衰退趋势未减, 处于生物可持续水平的鱼类种群占比从 1974 年的 90% 下降至 2019 年的 64.6%^[1]。增殖放流是人类应对渔业资源衰退所采取的积极措施之一, 被认为是增加渔业生物种群数量和促进渔业可持续发展的有效手段^[2]。美国、澳大利亚、挪威及日本等国家均开展了大规模的增殖放流活动, 中国自 2008 年以来增殖放流资金投入不断增加, 2017 年达 10.2 亿元^[3]。提升增殖放流的效果是学者们研究的热点。然而, 影响放流效果的因素众多, 包括放流地点、时间、苗种的规格、质量等。其中, 放流地点的生境条件会直接影响放流苗种的成活率和生长率^[4]。如大麻哈鱼 (*Oncorhynchus kate*)^[5]、大头鳕 (*Gadus macrocephalus*)^[6]、日本对虾 (*Penaeus japonicus*)^[7] 等在放流后受放流海



通信作者: 王学锋, 博士, 教授, 博士生导师, 长期从事渔业资源与生态环境保护的科研与教学工作, E-mail: xuefeng1999@126.com



资助项目: 国家重点研发计划(2024YFD2401803); 中国-东盟海上合作基金(12500101200021002); 广东省科技厅科技基础条件建设项目(2021B1212110005)

收稿日期: 2022-07-07

修回日期: 2022-12-20

文章编号:

1000-0615(2025)02-029312-11

中图分类号: S 931.5

文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)

域的生境条件影响, 死亡率较高, 严重影响了放流效果。适宜的放流水域不仅可以提高放流苗种的成活率和生长率, 还可以降低放流成本, 从而增加生态和经济效益。因此, 在大规模放流之前, 开展拟放流水域的适宜性评估对科学开展增殖放流工作和达到更好的放流效果十分重要。目前关于增殖放流水域适宜性的评估研究主要是在放流前通过出海采样的方式对拟放流水域开展本底调查, 调查内容包括水质、饵料生物、渔业资源等多个方面^[8-9]。但这种方法并未关注放流目标物种本身, 针对性不强且调查成本较高, 亟待开发新的评估方法。体长-体重关系可以反映鱼类所处环境的优劣, 常用来比较不同生境中鱼类的生长状况^[10]。肥满度与体长-体重关系密切, 亦能反映鱼体生长状况^[11]。此外, 鱼类肌肉营养成分与栖息地生境条件息息相关, 随生境因子的变化而变化^[12]。因此, 针对放流后回捕鱼的生长状况及其肌肉营养成分进行分析, 能够反映放流水域是否适宜放流鱼类栖息生长。

豹纹鳃棘鲈 (*Plectropomus leopardus*) 俗称东星斑, 属暖水性岛礁鱼类, 主要分布于西太平洋至印度洋海区^[13]。其体色鲜艳^[14], 肉质鲜嫩, 深受消费者喜爱, 但因其生长速率较缓, 加之过度捕捞, 使得野生资源大幅衰减, 现已被国际自然保护联盟 (IUCN) 红色名录列为近危物种^[15]。出于保护野生豹纹鳃棘鲈资源和发展其养殖产业的目的, 许多国家陆续开展了豹纹鳃棘鲈人工繁育、养殖以及增殖放流活动。目前中国豹纹鳃棘鲈的养殖技术已得到迅猛发展^[16], 有望成为增殖放流的重要物种。

因此, 本实验以豹纹鳃棘鲈为研究对象, 先将其小批量地放流到天然水域中, 通过对比放流回捕的豹纹鳃棘鲈与生活环境优越的养殖豹纹鳃棘鲈之间的生长特性及肌肉营养成分, 评估放流水域是否适宜豹纹鳃棘鲈栖息生长。以期今后评估鱼类增殖放流水域的适宜性提供一种新方法。

1 材料与方法

1.1 实验材料

于2021年4月底在广西涠洲岛放流了5000尾豹纹鳃棘鲈, 之后分别于2021年8月、2021

年12月和2022年3月在码头采集回捕鱼(图1), 共59尾。参照吴利娜等^[17]的方法, 从回捕鱼中选取6尾平均体重为(512.3±24.3)g, 经微卫星分子标记技术确定为放流的豹纹鳃棘鲈, 3尾用于肌肉营养测定, 3尾用于重金属测定。养殖鱼购于海南东方之星生物科技有限公司, 共65尾, 从中选取6尾, 平均体重为(504.0±31.9)g, 3尾用于肌肉营养测定, 3尾用于重金属测定。每尾鱼的肌肉为一个样本。实验过程中操作人员严格遵守实验动物管理和使用伦理规范。

1.2 实验方法

生长参数估算 鱼类生长特征用幂函数关系拟合的体长与体重表达式来表述^[18]; 肥满度 K 则根据鱼体的体长与体重来计算, 公式^[19]:

$$W = aL^b$$

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

式中, W 为鱼的体重 (g), L 为鱼的体长 (cm), a 为生长的条件因子, 在饵料基础、水质等环境条件较好的情况下, a 值较大; b 为异速生长因子, 当 b 等于3为等速生长。

常规营养成分测定 肌肉样品中水分含

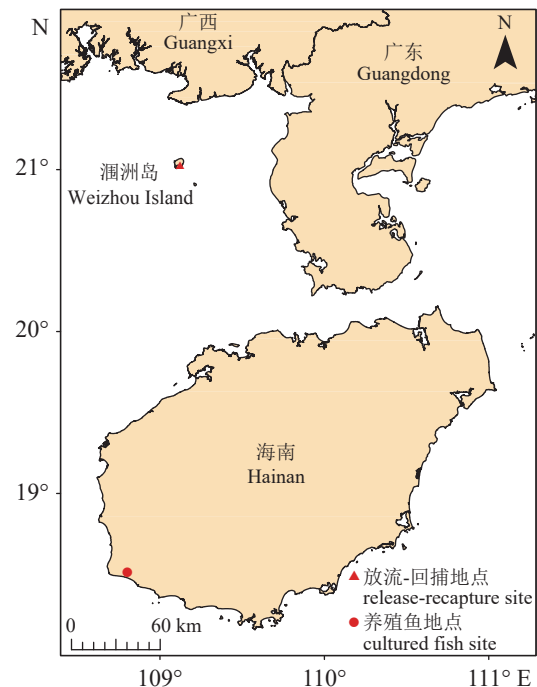


图1 豹纹鳃棘鲈回捕与养殖群体采集地点示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the collection site of recaptured and farmed of *P. leopardus*

量测定采用直接干燥法 (GB 5009.3—2016), 粗蛋白含量测定采用凯氏定氮法 (GB 5009.5—2016), 粗脂肪含量测定采用酸水解法 (GB 5009.6—2016), 粗灰分含量测定采用 550 °C 高温灼烧法 (GB 5009.4—2016)。

氨基酸组成及含量测定 肌肉样品中氨基酸组成及含量采用 GB 5009.124—2016 中的方法测定。

脂肪酸组成及含量测定 肌肉样品中脂肪酸组成及含量测定采用内标法 (GB 5009.168—2016)。

矿物质含量测定 钠、镁、钾、铜、铁、锌含量测定采用电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS)(GB 5009.268—2016), 钙含量测定采用电感耦合等离子体发射光谱法 (ICP-OES), 硒含量测定采用氢化物原子荧光光谱法 (GB 5009.93—2017), 磷含量测定采用钼蓝分光光度法 (GB 5009.87—2016)。

重金属含量测定 镉、铬、铅含量测定采用电感耦合等离子体质谱法 (HY/T 147.3—2013), 汞含量测定采用原子荧光法 (GB 17378.6—2007)。

营养品质评价方法 根据 1973 年联合国粮食及农业组织 (FAO) 和世界卫生组织 (WHO) 建议的氨基酸评分模式和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式, 分别按以下公式计算氨基酸评分 (AAS)、化学评分 (CS) 和必需氨基酸指数 (EAAI):

AAS 为待测样品中某氨基酸含量 (mg/g N)/[FAO/WHO 标准模式中同种氨基酸含量 (mg/g N)]。

CS 为待测样品中某氨基酸含量 (mg/g N)/全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量 (mg/g N)。

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{a \times b \times c \times \dots \times n}{A \times B \times C \times \dots \times N}} \times 100$$

式中, a 、 b 、 c 、 \dots 、 n 表示豹纹鳃棘鲈肌肉蛋白质中某种氨基酸含量 (mg/g N); A 、 B 、 C 、 \dots 、 N 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量 (mg/g N)。

1.3 数据分析

样品检测结果使用平均值±标准差 (mean ± SD) 表示。对于回捕个体与养殖个体肌肉中营养成分的数据, 首先采用 Shapiro-Wilk test 进行正态性检验, 采用 Levene's test 进行方差齐性检验。数据满足要求则采用独立样本 t 检验对

比养殖个体与回捕个体之间各参数的差异, $P < 0.05$ 表示差异显著。统计分析均在 SPSS 19.0 软件中完成。

2 结果

2.1 体长与体重关系及肥满度

豹纹鳃棘鲈养殖及回捕群体的体长与体重数据拟合后, 二者均符合 $W = aL^b$ 规律 (图 2)。养殖群体的关系式为 $W = 6.0 \times 10^{-6} L^{3.2275}$, $R^2 = 0.9467$; 回捕群体的关系式为 $W = 3.3 \times 10^{-5} L^{2.9703}$, $R^2 = 0.9210$ 。两种生活环境下的豹纹鳃棘鲈 b 值皆接近于 3, 表明无论是养殖环境还是自然水体, 该物种总体呈等速生长。肥满度方面, 回捕群体的肥满度 (2.81 g/cm³) 高于养殖群体 (2.31 g/cm³), 但二者间差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 常规营养成分

豹纹鳃棘鲈回捕群体肌肉中粗蛋白与粗脂肪含量均较高 (分别为 21.89 和 2.00 g/100 g), 但与养殖群体差异不显著 ($P > 0.05$)。养殖群体肌肉中水分、粗灰分含量略高于回捕群体 (分别为 76.21 和 1.53 g/100 g), 但差异不显著 ($P > 0.05$) (图 3)。

2.3 氨基酸组成与含量及营养评价

豹纹鳃棘鲈回捕与养殖群体肌肉中均测得 16 种氨基酸, 其中必需氨基酸 (EAA) 7 种, 半必需氨基酸 (SEAA) 2 种, 非必需氨基酸 (NEAA) 7 种, 呈味氨基酸 (DEAA) 4 种。回捕群体肌肉中的 EAA、SEAA、NEAA 和 DEAA 的含量均低于养殖群体, 但差异均不显著 ($P >$

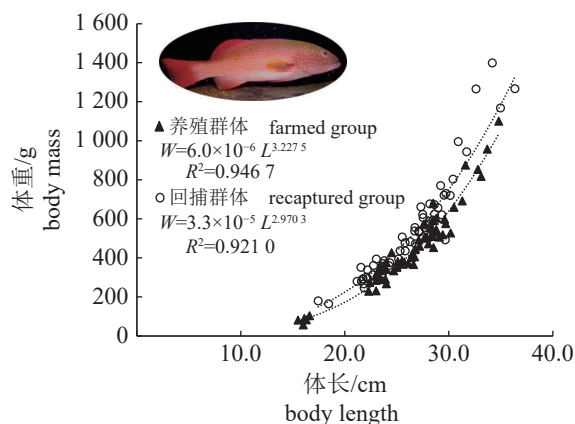


图 2 回捕与养殖豹纹鳃棘鲈的体长-体重关系图

Fig. 2 Relationship between body length and mass of recaptured and farmed *P. leopardus*

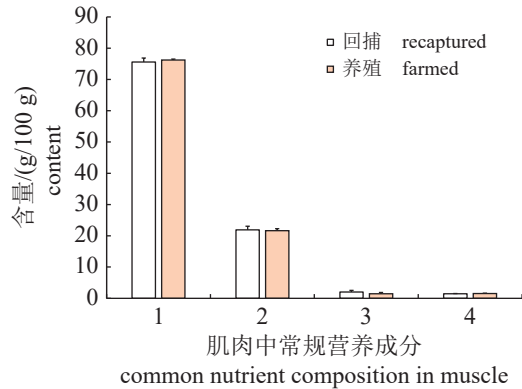


图3 不同生长环境豹纹鳃棘鲈肌肉中常规营养成分

1. 水分, 2. 粗蛋白, 3. 粗脂肪, 4. 粗灰分。

Fig. 3 Common nutrient composition in muscle of *P. leopardus* from different growth environment

1. moisture, 2. crude protein, 3. crude lipid, 4. crude ash.

0.05); 谷氨酸的含量最高, 其次为天冬氨酸。所有氨基酸中, 除养殖群体肌肉中苯丙氨酸和甘氨酸含量显著高于回捕群体外, 二者间其余氨基酸含量无显著差异 (表 1)。

豹纹鳃棘鲈回捕与养殖群体肌肉中赖氨酸的氨基酸评分和化学评分皆最高 (表 2)。根据氨基酸评分评价, 回捕与养殖群体的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸, 第二限制性氨基酸均为缬氨酸; 根据化学评分评价, 回捕与养殖群体的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸, 第二限制性氨基酸为缬氨酸。氨基酸评分与化学评分结果一致。此外, EAAI 反映了 EAA 与标准蛋白相接近的程度, EAAI<70 表示蛋白质营养不充足, EAAI 在 80 左右表示蛋白质营养价值较好。豹纹鳃棘鲈回捕群体与养殖群体二者肌肉 EAAI 均大于 80, 表明豹纹鳃棘鲈营养价值较好。

2.4 脂肪酸组成及含量

豹纹鳃棘鲈回捕和养殖群体肌肉中均检测出 22 种脂肪酸, 包括 8 种饱和脂肪酸 (SFA), 6 种单不饱和脂肪酸 (MUFA) 和 8 种多不饱和脂肪酸 (PUFA) (表 3)。回捕群体肌肉中 SFA 和 MUFA 含量极显著高于养殖群体 ($P<0.01$), 而 PUFA 含量显著低于养殖群体 ($P<0.05$)。

回捕群体肌肉中 C20:4n6 (ARA)、C20:5n3 (EPA)、C22:6n3 (DHA)、EPA+DHA 含量均高于养殖群体, 且回捕群体肌肉中 ARA 和 EPA 含量极显著高于养殖群体 ($P<0.01$), DHA 含量

表 1 不同生长环境豹纹鳃棘鲈肌肉中氨基酸组成与含量

Tab. 1 Amino acids composition and content in muscles of *P. leopardus* from different growth environment

项目 items	回捕 recaptured	养殖样本 farmed
苏氨酸 Thr*	0.93±0.59	0.95±0.02
缬氨酸 Val†	1.01±0.04	1.02±0.04
蛋氨酸 Met*	0.66±0.03	0.68±0.02
异亮氨酸 Ile*	0.97±0.04	0.98±0.03
亮氨酸 Leu*	1.70±0.07	1.74±0.05
赖氨酸 Lys*	2.03±0.10	2.07±0.06
苯丙氨酸 Phe*	0.89±0.04 ^a	0.94±0.02 ^b
精氨酸 Arg ^Δ	1.31±0.08	1.31±0.03
组氨酸 His ^Δ	0.49±0.03	0.51±0.02
天冬氨酸 Asp [#]	2.21±0.11	2.30±0.05
丝氨酸 Ser [□]	0.79±0.07	0.80±0.02
谷氨酸 Glu [□]	3.33±0.14	3.40±0.01
甘氨酸 Gly [□]	0.94±0.11 ^a	1.08±0.04 ^b
丙氨酸 Ala [□]	1.25±0.11	1.29±0.02
酪氨酸 Tyr [□]	0.77±0.03	0.76±0.03
脯氨酸 Pro [□]	0.66±0.06	0.68±0.02
必需氨基酸总量 ΣEAA	8.19±0.38	8.37±0.23
非必需氨基酸总量 ΣNEAA	9.94±0.59	10.32±0.20
呈味氨基酸总量 ΣDEAA	7.72±0.45	8.07±0.16
氨基酸总量 ΣTAA	19.93±1.06	20.52±0.45
ΣEAA/ΣTAA/%	41.09	40.79
ΣEAA/ΣNEAA/%	82.39	81.10

注: *. 必需氨基酸; Δ. 半必需氨基酸; □. 非必需氨基酸; #. 呈味氨基酸; 同行数据上标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下同。
Notes: *. essential amino acids; Δ. semiessential amino acids; □. non-essential amino acids; #. delicious amino acids; in the same line, values with different lowercase superscripts show significant difference ($P<0.05$), the same below.

显著高于养殖群体 ($P<0.05$)。

2.5 矿物元素含量

豹纹鳃棘鲈回捕和养殖群体肌肉中均检测出 5 种常量元素 (钠、镁、钾、钙和磷) 与 5 种微量元素 (铜、铁、锌、锰和硒)。二者肌肉中常量元素以钾含量最高, 分别为 4 343.00 和 4 477.00 mg/kg, 其次为磷、钠、镁, 钙含量最低。微量元素锌含量最高, 分别为 4.34 和 4.73 mg/kg, 其次为铁、硒、铜, 锰含量最低。回捕群体肌肉中的锰含量极显著低于养殖群体, 而硒含量极显著高于养殖群体 ($P<0.01$) (表 4)。

表 2 不同生长环境豹纹鳃棘鲈肌肉中氨基酸评分和化学评分

Tab. 2 Comparison of AAS and CS of essential amino acids in muscles of *P. leopardus* from different growth environment

必需氨基酸 EAA	FAO/WHO	全鸡蛋蛋白 egg protein	回捕 recaptured			养殖 farmed		
			氨基酸含量/(mg/g N) amino acids content	氨基酸评分 AAS	化学评分 CS	氨基酸含量/(mg/g N) amino acids content	氨基酸评分 AAS	化学评分 CS
苏氨酸 Thr	250	292	265.53	1.06	0.91	274.63	1.10	0.94
缬氨酸 Val	310	441	288.37	0.93	0.65	294.87	0.95	0.67
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	220	386	188.44	0.86	0.49	196.58	0.89	0.51
异亮氨酸 Ile	250	331	276.95	1.11	0.84	283.30	1.13	0.86
亮氨酸 Leu	440	534	485.38	1.10	0.91	503.01	1.14	0.94
赖氨酸 Lys	340	441	579.60	1.70	1.31	598.40	1.76	1.36
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyl	380	565	473.96	1.25	0.84	491.44	1.29	0.87
ΣEAA	2 190	2 990	2 558.25			2 642.23		
EAAI			81.72			84.39		

表 3 不同生长环境豹纹鳃棘鲈肌肉中脂肪酸组成及含量

Tab. 3 Fatty acids composition and content in muscles of *P. leopardus* from different growth environment g/100 g

项目 items	回捕 recaptured	养殖 farmed
C12:0	0.10±0.02	0.08±0.02
C14:0	10.33±0.61 ^B	5.03±1.47 ^A
C15:0	0.93±0.08 ^B	0.47±0.12 ^A
C16:0	39.6±2.36 ^B	23.07±4.89 ^A
C17:0	2.10±0.22 ^B	1.14±0.23 ^A
C18:0	8.80±0.78 ^B	6.16±0.93 ^A
C20:0	0.46±0.05 ^B	0.37±0.08 ^A
C24:0	0.44±0.02	0.44±0.39
C14:1n5	0.29±0.10 ^B	0.12±0.04 ^A
C16:1n7	18.28±1.14 ^B	6.24±1.72 ^A
C17:1n7	1.65±0.21 ^B	0.86±0.21 ^A
C18:1n9c	15.44±0.59	18.45±4.53
C20:1	1.41±0.07 ^B	1.09±0.24 ^A
C22:1n9	0.43±0.07 ^b	0.31±0.08 ^a
C18:2n6c	1.56±0.12 ^A	17.22±4.71 ^B
C18:3n6	0.42±0.13 ^B	0.17±0.04 ^A
C18:3n3	0.75±0.02 ^A	1.84±0.56 ^B
C20:2	0.26±0.02 ^A	0.42±0.08 ^B
C20:3n6	0.43±0.10 ^B	0.15±0.03 ^A
C20:4n6 ARA	3.41±0.41 ^B	1.32±0.19 ^A
C20:5n3 EPA	8.46±1.22 ^B	6.53±1.48 ^A
C22:6n3 DHA	19.13±1.46 ^b	15.65±2.34 ^a
ΣEPA+DHA	27.59±2.04 ^b	22.18±3.82 ^a
ΣSFA	62.74±3.76 ^B	36.61±7.77 ^A
ΣMUFA	37.50±1.92 ^B	27.02±6.79 ^A
ΣPUFA	34.39±1.92 ^a	43.29±9.41 ^b

注: 同行数据上标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$), 下同。
Notes: In the same line, values with different capital superscripts show significant difference ($P<0.01$), the same below.

表 4 不同生长环境豹纹鳃棘鲈肌肉中矿物元素的组成与含量

Tab. 4 Mineral element composition and content in muscles of *P. leopardus* from different growth environment mg/kg

项目 items	回捕 recaptured	养殖 farmed
钠 Na	926.21±116.38	1 049.73±409.28
镁 Mg	430.48±28.84	404.03±26.90
钾 K	4 343.00±111.11	4 477.00±148.42
钙 Ca	167.97±20.02	182.80±17.00
磷 P	22.84±0.95	22.50±0.45
铜 Cu	0.12±0.03	0.15±0.03
铁 Fe	1.48±0.55	1.92±0.50
锌 Zn	4.34±0.39	4.73±0.53
锰 Mn	0.06±0.03 ^A	0.14±0.05 ^B
硒 Se	0.75±0.06 ^B	0.34±0.03 ^A
总含量 total content	5 897.25±253.19	6 143.36±529.67

2.6 重金属含量

豹纹鳃棘鲈回捕与养殖群体肌肉中铬含量均最高, 分别为 0.22 和 0.21 mg/kg, 其次是铅、汞, 镉含量最低。其中, 回捕群体肌肉中铅含量显著低于养殖群体 ($P<0.05$), 镉、铬、汞含量无显著差异 ($P>0.05$)。且二者肌肉中各重金属含量均在 GB 2762—2017 规定的限量标准内(表 5)。

2.7 增殖放流水域适宜性评估流程

本研究形成了基于鱼类生长特征与营养成分评估增殖放流水域适宜性的流程(图 4)。将

表 5 不同生长环境豹纹鳃棘鲈肌肉中重金属含量

Tab. 5 Heavy metal content in muscles of *P. leopardus* from different growth environment mg/kg

项目 items	回捕 recaptured	养殖 farmed	限量值 limited value
镉 Cd	< 0.03	< 0.03	0.1
铬 Cr	0.22±0.12	0.21±0.10	2.0
汞 Hg	0.03±0.03	0.03±0.01	1.0
铅 Pd	0.04±0.01 ^a	0.05±0.00 ^b	0.5

适量的目标鱼作标志后放到拟开展大规模增殖放流的水域, 采集回捕到的标志鱼与同规格下的养殖鱼, 记录取样时间, 测量体长、体重, 并采集肌肉。再将二者的生长特性及肌肉营养成分进行对比, 若回捕鱼的生长和肌肉营养优于或接近生活环境优越的养殖鱼, 说明拟放流水域适宜放流该鱼类, 之后可开展大批量增殖放流。

3 讨论

3.1 体长-体重关系与肥满度

在鱼类体长-体重关系的研究中, 异速生长因子 b 可用于判断鱼类种群生长的均匀程度, 生长条件因子 a 值大小能够反映鱼群生长环境状况^[20]。本研究中, 豹纹鳃棘鲈回捕群体的 b 值为 2.970 3, 可视为等速生长, 说明放流后的豹纹鳃棘鲈整体生长速率均匀。回捕群体 a 值大于养殖群体, 可见相对于养殖水体, 放流水域的环境质量(饵料供应、生长环境)较优质。肥满度常被用来表示鱼类的生长状况以及鱼群饵料保障的丰歉^[21]。豹纹鳃棘鲈回捕群体肥满度大于养殖群体, 表明回捕群体较养殖群体肥硕, 生长状况良好。原因可能是放流水域拥有珊瑚礁生境, 浮游生物、底栖生物和鱼类资源丰富^[22], 为豹纹鳃棘鲈提供了充足的饵料资源和适宜的生长栖息地。由此可见增殖放流水域

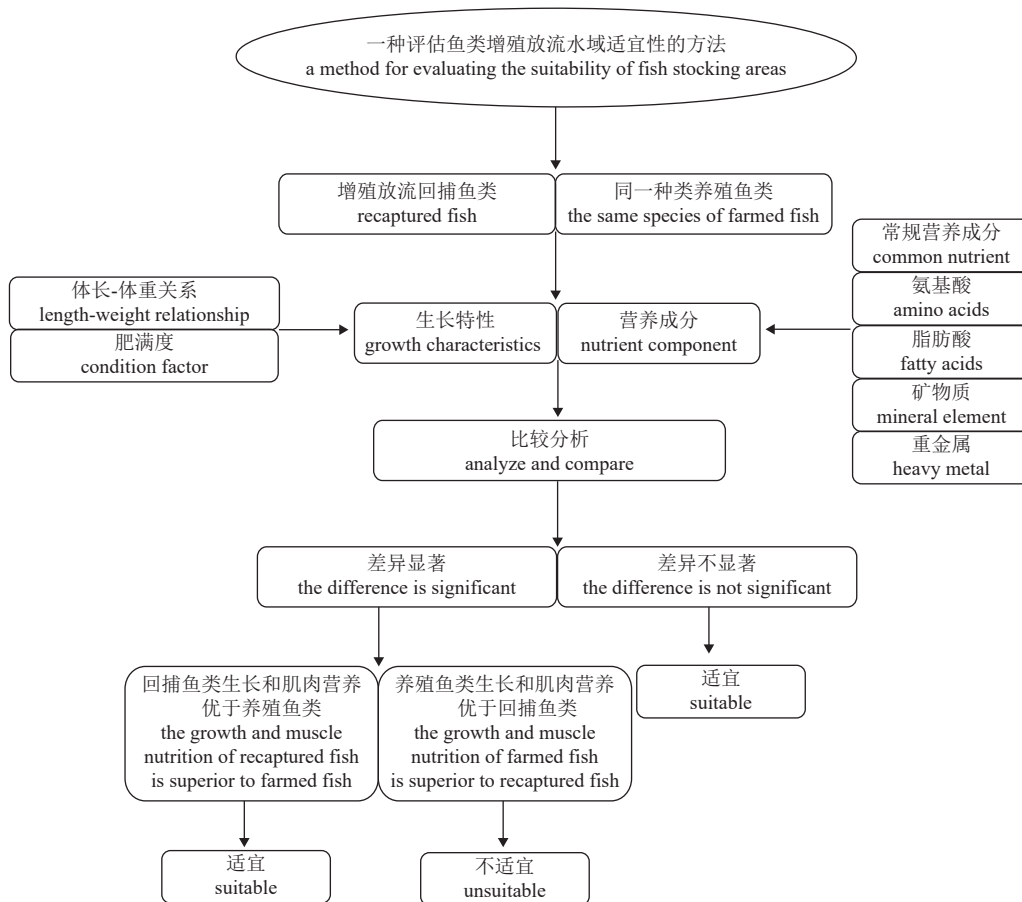


图 4 基于鱼类生长特征与营养成分评估增殖放流水域适宜性的流程

Fig. 4 Process for assessing the suitability of stock waters based on growth characteristics and nutrient components of fish

的食物丰富, 生存环境质量较高, 适合放流鱼类栖息生长。另外, 可采取间隔时间段取样的方式测定其体长、体重, 对比二者生长率的差异, 进一步探讨回捕鱼的生长速率是否优于养殖鱼, 从而深入分析放流水域适宜性。关于如何确定回捕个体是否为增殖放流的个体, 本研究采用的是微卫星分子标记方法, 此外还可使用挂牌等物理标记方法以及荧光等化学标记方法^[23-24]。

3.2 常规营养成分及营养品质

鱼类营养价值与粗灰分、水分、粗蛋白及粗脂肪等常规营养成分指标息息相关^[25], 鱼类肌肉的营养价值会随栖息地的生境条件的变化而变化^[26]。水体温度、盐度、饵料等均会对鱼类肌肉的营养品质产生影响^[27]。本研究结果显示, 豹纹鳃棘鲈回捕群体与养殖群体肌肉中常规营养成分无显著差异, 这与黄姑鱼 (*Nibea albiflora*)^[28]、大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)^[29] 的研究结果一致。可能是因为放流鱼类和养殖鱼类生长水域的温度、盐度等环境因子相差不大。

氨基酸总量及组成是决定蛋白质营养价值的重要因素, 特别是必需氨基酸组成与含量^[30]。FAO 将蛋白质中 EAA/TAA 值约为 40%、EAA/NEAA 值大于 60% 界定为优质蛋白^[31]。本研究发现, 豹纹鳃棘鲈回捕与养殖群体肌肉氨基酸含量和比例基本一致, EAA/TAA 值分别为 41.09% 和 40.79%, EAA/NEAA 值分别为 82.39% 和 81.10%, 表明两种生活环境下的豹纹鳃棘鲈氨基酸平衡效果均较好, 属于人体所需的优质蛋白质。两种生活环境下必需氨基酸均以赖氨酸含量最丰富。赖氨酸是人体第一限制性氨基酸, 也是一般谷类蛋白质和人乳的第一限制性氨基酸^[32]。因此, 摄食豹纹鳃棘鲈可以弥补以谷类食物为主的膳食者食物中赖氨酸的不足, 从而提高人体对蛋白质的利用率。呈味氨基酸的组成与含量决定动物蛋白的鲜味, 尤其谷氨酸, 其含量是评价鱼肉风味的重要指标^[33]。本研究中回捕群体与养殖群体肌肉中的呈味氨基酸总量和谷氨酸含量均差异不大, 味道均鲜美, 表明增殖放流水域亦能够为豹纹鳃棘鲈提供呈味氨基酸种类及含量多的食物。

3.3 脂肪酸组成

遗传因素、食物来源和季节变化等都会造

成鱼肌肉中各类脂肪酸比例和含量的变化^[34]。本研究结果显示, 豹纹鳃棘鲈回捕群体与养殖群体肌肉中脂肪酸种类相同, 但回捕群体肌肉中饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量较高, 而养殖群体肌肉中多不饱和脂肪酸含量较高, 表明不同生活环境会影响鱼类脂肪酸含量。类似的结果在舌齿鲈 (*Dicentrarchus labrax*)^[27]、黑斑小鲷 (*Pagellus bogaraveo*)^[35] 及鳎 (*Solea solea*)^[36] 中也有报道。

衡量鱼类营养价值高低的两个重要指标分别为鱼体不饱和脂肪酸和必需脂肪酸的含量, 其中最主要的是 EPA 和 DHA, 其具有促进大脑和视神经发育、降低血脂和心血管疾病、抗血栓和肿瘤等作用^[37]。且 EPA 和 DHA 是海水鱼类的必需脂肪酸, 不能完全靠自身合成, 只能从较低营养级的生物中摄食获得^[38]。本研究中, 豹纹鳃棘鲈回捕群体肌肉中 EPA、DHA 和 EPA+DHA 含量均显著高于养殖群体。造成差异的原因可能是回捕群体生活在自然海域, 食物来源丰富, 能够选择性摄食 EPA 和 DNA 含量更多的食物。一定程度上亦表明增殖放流水域生活环境适宜, 觅食条件好, 摄食充足, 能积累更多的必需脂肪酸。

3.4 矿物质与重金属含量

矿物质对维持鱼类生理生化功能和正常生命活动有重要作用, 与其他脊椎动物不同, 鱼类是从食物和周围的水环境中吸收矿物质^[39]。对于养殖鱼类来说, 可通过在饲料中添加矿物质补充剂来弥补其体内矿物质含量的不足^[40]。本研究发现豹纹鳃棘鲈回捕和养殖群体肌肉中钙、铁、铜、锌和硒等矿物质含量均较丰富, 总矿物质含量差异不显著, 表明放流水域中有较丰富的矿物质供豹纹鳃棘鲈吸收利用。

环境中的重金属被鱼类吸收后能够在体内积累, 会对鱼类造成危害, 并通过食物链最终进入人体, 干扰人体正常生理功能, 对人体健康造成不利影响^[41]。如铬对豹纹鳃棘鲈幼鱼生长及饲料利用率有抑制作用^[42], 镉导致日本花鲈 (*Lateolabra japonicus*) 肝脏和肾脏损伤^[43], 铅使鳙 (*Hypophthalmichthys nobilis*) 肠道结构和肠道菌群遭到破坏^[44]。近年来, 由于工矿业废水、生活污水及交通运输业等影响, 自然水域中重金属含量逐年递增, 导致鱼体受重金属污

染^[45]。但本研究发现,生活在自然海域的豹纹鳃棘鲂回捕群体肌肉中铅含量显著低于豹纹鳃棘鲂养殖群体,其余重金属含量差异不显著。推测养殖群体在养殖过程中,受饲料成分与投喂量、人工管理、区域水体水质等影响,蓄积了一定量的铅^[46]。由此可见,增殖放流水域重金属含量低,很大程度上能避免重金属在鱼体内蓄积,不对鱼体和人体健康造成威胁。

综上所述,增殖放流水域的生境条件能保证粗蛋白、粗脂肪、氨基酸、不饱和脂肪酸和矿物质等营养物质均衡和积累,满足豹纹鳃棘鲂生长发育的需求。将增殖放回捕鱼与同一种类生活环境优越的养殖鱼二者的生长特征和肌肉营养成分进行对比分析,从而评估拟增殖放流水域的适宜性,是一种可行的方法。并形成了评估流程(图4),为今后科学开展鱼类增殖放流提供参考。

参考文献 (References):

- [1] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2022[R]. Rome: FAO, 2022.
- [2] Garlock T M, Lorenzen K. Marine angler characteristics and attitudes toward stock enhancement in Florida[J]. *Fisheries Research*, 2017, 186: 439-445.
- [3] 唐启升. 我国专属经济区渔业资源增殖战略研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2019: 6.
Tang Q S. Study on fishery resources multiplication strategy in exclusive economic zone of China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2019: 6 (in Chinese).
- [4] 张崇良, 徐宾铨, 薛莹, 等. 渔业资源增殖评估研究进展与展望[J]. 水产学报, 2021, 46(8): 1509-1524.
Zhang C L, Xue B D, Xue Y, et al. Fisheries stock enhancement assessment: progress and prospect[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 46(8): 1509-1524 (in Chinese).
- [5] Conover D O. Local adaptation in marine fishes: evidence and implications for stock enhancement[J]. *Bulletin of Marine Science*, 1998, 62(2): 477-493.
- [6] Blaxter J H S. The enhancement of marine fish stocks[J]. *Advances in Marine Biology*, 2000, 38: 1-54.
- [7] Hamasaki K, Kitada S. A review of kuruma prawn *Penaeus japonicus* stock enhancement in Japan[J]. *Fisheries Research*, 2006, 80(1): 80-90.
- [8] 罗庆华, 刘英, 张立云. 张家界大鲵人工放流效果及其影响因素分析[J]. *生物多样性*, 2009, 17(3): 310-317.
Luo Q H, Liu Y, Zhang L Y, et al. Effectiveness of releasing artificially-bred Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) into the wild in Zhangjiajie, Hunan[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(3): 310-317 (in Chinese).
- [9] 李忠义, 金显仕, 吴强, 等. 鳌山湾增殖放流中国明对虾的研究[J]. 水产学报, 2014, 38(3): 410-416.
Li Z Y, Jin X S, Wu Q, et al. Studies on the *Fenneropenaeus chinensis* released in the Aoshan Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(3): 410-416 (in Chinese).
- [10] Jisr N, Younes G, Sukhn C, et al. Length-weight relationships and relative condition factor of fish inhabiting the marine area of the Eastern Mediterranean city, Tripoli-Lebanon[J]. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2018, 44(4): 299-305.
- [11] 戴强, 戴建洪, 李成, 等. 关于肥满度指数的讨论[J]. *应用与环境生物学报*, 2006, 12(5): 715-718.
Dai Q, Dai J H, Li C, et al. Discussion on relative fatness[J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2006, 12(5): 715-718 (in Chinese).
- [12] 杨景峰, 王兆菊, 任绍洁, 等. 水产动物营养成分的季节变化[J]. 食品科技, 2015, 40(6): 99-101.
Yang J F, Wang Z T, Ren S J, et al. Seasonal variations in nutritional value of aquatic animals[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(6): 99-101 (in Chinese).
- [13] Ferreira B P, Russ G R. Age validation and estimation of growth rate of the coral trout, *Plectropomus leopardus*, (Lacepede 1802) from Lizard Island, Northern Great Barrier Reef[J]. *Fishery Bulletin*, 1994, 92(1): 46-57.
- [14] 尤宏争, 孙志景, 张勤, 等. 豹纹鳃棘鲂肌肉营养成分分析与品质评价[J]. *水生生物学报*, 2014, 38(6): 1168-1172.
You H Z, Sun Z J, Zhang Q, et al. Nutritional components analysis and nutritive value evaluation in *Plectropomus leopardus* muscles[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38(6): 1168-1172 (in Chinese).
- [15] Bunt C M, Kingsford M J. Movement, habitat utilization and behaviour of coral trout *Plectropomus leopardus* during and after the reproductive period on the southern Great Barrier Reef[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2014, 496: 33-45.
- [16] 涂志刚, 蒋玉峰, 邱名毅. 三亚崖州区豹纹鳃棘鲂养殖现状与发展建议[J]. 中国水产, 2019(12): 42-43.
Tu Z G, Jiang Y F, Qiu M Y. Present situation and development suggestions of *Plectropomus leopardus* aquaculture in

- Yazhou District, Sanya[J]. *China Fisheries*, 2019(12): 42-43 (in Chinese).
- [17] 吴利娜, 张凝璇, 孙松, 等. 微卫星分子标记技术在大黄鱼增殖放流效果评估中的应用 [J]. *中国水产科学*, 2021, 28(9): 1100-1108.
- Wu L N, Zhang N J, Sun S, *et al.* Application of microsatellite markers for evaluating the effect of restocking enhancement in *Larimichthys crocea*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(9): 1100-1108 (in Chinese).
- [18] 詹秉义. 渔业资源评估 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 18.
- Zhan B Y. Fisheries stock assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 18 (in Chinese).
- [19] 张建明, 姜华, 田甜, 等. 齐口裂腹鱼苗种培育及其苗种生长特性分析 [J]. *南方农业学报*, 2019, 50(9): 2102-2110.
- Zhang J M, Jiang H, Tian T, *et al.* Larvae culture and larvae growth characteristics of *Schizothorax prenanti*[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50(9): 2102-2110 (in Chinese).
- [20] Froese R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2006, 22(4): 241-253.
- [21] 张俊, 陈作志, 董俊德, 等. 近 20 年南海四带笛鲷 (*Lutjanus kasmira*) 种群特征变化 [J]. *海洋与湖沼*, 2020, 51(1): 114-124.
- Zhang J, Chen Z Z, Dong J D, *et al.* Variation in the population characteristics of blue-striped snapper *Lutjanus kasmira* in the South China Sea in recent 20 years[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2020, 51(1): 114-124 (in Chinese).
- [22] 于婉君. 涠洲岛珊瑚礁区的底质特征及其对珊瑚分布的影响 [D]. 南宁: 广西大学, 2022.
- Yu W J. Substrate characteristics of the area of Weizhou Island reef and its effects on the distribution of corals[D]. Nanning: Guangxi University, 2022 (in Chinese).
- [23] 宋娜, 高天翔, 韩刚, 等. 分子标记在渔业资源增殖放流中的应用 [J]. *中国渔业经济*, 2010, 28(3): 111-117.
- Song N, Gao T X, Han G, *et al.* Application of molecular marker in fishery stock enhancement[J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2010, 28(3): 111-117 (in Chinese).
- [24] 吕少梁, 林坤, 曾嘉维, 等. 黄鳍棘鲷标志放流群体的规格适宜性评价 [J]. *水产学报*, 2021, 45(11): 1863-1870.
- Lyu S L, Lin K, Zeng J W, *et al.* Evaluation of suitable body size for tagging and releasing of yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(11): 1863-1870 (in Chinese).
- [25] Xie R T, Amenogbe E, Chen G, *et al.* Effects of feed fat level on growth performance, body composition and serum biochemical indices of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus polyphekadion*)[J]. *Aquaculture*, 2021, 530: 735813.
- [26] 李忠莹, 丁红秀, 张露, 等. 不同生境来源的草鱼肌肉营养成分比较 [J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(17): 133-139.
- Li Z Y, Ding H X, Zhang L, *et al.* Comparative analysis on the nutritional quality of grass carp muscle from different habitats[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(17): 133-139 (in Chinese).
- [27] Fuentes A, Fernández-Segovia I, Serra J A, *et al.* Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(4): 1514-1518.
- [28] 徐梅英, 陈云仙, 吴常文. 网箱养殖与野生黄姑鱼肌肉营养成分比较 [J]. *浙江海洋学院学报 (自然科学版)*, 2010, 29(4): 340-345.
- Xu M Y, Chen Y X, Wu C W. Analysis of nutrition in the muscle of wild and cultured *Nibea albiflora*[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition)*, 2010, 29(4): 340-345 (in Chinese).
- [29] 林利民, 王秋荣, 王志勇, 等. 不同家系大黄鱼肌肉营养成分的比较 [J]. *中国水产科学*, 2006, 13(2): 286-291.
- Lin L M, Wang Q R, Wang Z Y, *et al.* Comparison of biochemical compositions of muscle among three stocks and wild-caught large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2006, 13(2): 286-291 (in Chinese).
- [30] 杨培民, 赵晓临, 夏大明, 等. 野生与人工养殖鸭绿江斑鳜肌肉营养成分及品质评价 [J]. *水生态学杂志*, 2010, 3(1): 142-146.
- Yang P M, Zhao X L, Xia D M, *et al.* Comparative evaluation of nutritive components and quality in the muscle of wild and cultured *Siniperca schezeri*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2006, 3(1): 142-146 (in Chinese).
- [31] 况文明, 唐仁军, 薛洋, 等. 池塘两种养殖方式下草鱼的营养差异 [J]. *水产学报*, 2020, 44(12): 2028-2036.
- Kuang W M, Tang R J, Xue Y, *et al.* Preliminary evaluation of nutritional differences of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) under two pond culture models[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(12): 2028-2036 (in Chinese).
- [32] 韩现芹, 贾磊, 王群山, 等. 野生与养殖牙鲆肌肉营养成分的比较 [J]. *广东海洋大学学报*, 2015, 35(6): 94-99.
- Han X Q, Jia L, Wang Q S, *et al.* Composition of muscle nutri-

- ents between wild and cultured *Paralichthys olivaceus*[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2015, 35(6): 94-99 (in Chinese).
- [33] Park J N, Watanabe T, Endoh K I, *et al.* Taste-active components in a Vietnamese fish sauce[J]. *Fisheries Science*, 2002, 68(4): 913-920.
- [34] Kaçar S, Başhan M, Oymak S A. Effect of seasonal variation on lipid and fatty acid profile in muscle tissue of male and female *Silurus triostegus*[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(7): 2913-2922.
- [35] Rincón L, Castro P L, Álvarez B, *et al.* Differences in proximal and fatty acid profiles, sensory characteristics, texture, colour and muscle cellularity between wild and farmed blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*)[J]. *Aquaculture*, 2016, 451: 195-204.
- [36] Parma L, Badiani A, Bonaldo A, *et al.* Farmed and wild common sole (*Solea solea* L.): comparative assessment of morphometric parameters, processing yields, selected nutritional traits and sensory profile[J]. *Aquaculture*, 2019, 502: 63-71.
- [37] Brenna J T, Carlson S E. Docosahexaenoic acid and human brain development: evidence that a dietary supply is needed for optimal development[J]. *Journal of Human Evolution*, 2014, 77: 99-106.
- [38] 王腾, 高春霞, 王少琴, 等. 浙江南部近海小黄鱼肌肉脂肪酸组成及食源指示分析 [J]. *上海海洋大学学报*, 2021, 30(6): 992-1001.
- Wang T, Gao C X, Wang S Q, *et al.* Characteristics of fatty acid composition and dietary indication of small yellow croaker in the offshore waters of southern Zhejiang[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, 30(6): 992-1001 (in Chinese).
- [39] Lall S P, Kaushik S J. Nutrition and metabolism of minerals in fish[J]. *Animals*, 2021, 11(9): 2711.
- [40] 王承凯, 王鲁敏. 饲料中镁水平对鲢鱼生长性能、血液指标及机体矿物质含量的影响 [J]. *中国饲料*, 2021(16): 74-77.
- Wang C K, Wang L M. Effects of dietary magnesium level on growth performance, blood biochemistry and body composition of catfish[J]. *China Feed*, 2021(16): 74-77 (in Chinese).
- [41] 李宏, 潘晓洁, 万成炎, 等. 重金属对鱼类的生态毒理学研究进展 [J]. *水生态学杂志*, 2019, 40(5): 104-111.
- Li H, Pan X J, Wan C Y, *et al.* Advances in ecotoxicology research on fish exposed to heavy metals[J]. *Journal of Hydroecology*, 2019, 40(5): 104-111 (in Chinese).
- [42] 李钰, 郭志强, 韩冬, 等. 食物相铬在豹纹鳃棘鲈鱼不同脑区的生物累积 [J]. *水生生物学报*, 2022, 46(9): 1341-1349.
- Li Y, Guo Z Q, Han D, *et al.* Bioaccumulation of chromium in different brain regions of *Plectropomus leopardus* during dietary exposure[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, 46(9): 1341-1349 (in Chinese).
- [43] Mai K S, Li H T, Ai Q H, *et al.* Effects of dietary squid viscera meal on growth and cadmium accumulation in tissues of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvier 1828)[J]. *Aquaculture Research*, 2006, 37(11): 1063-1069.
- [44] Liu H S, Fu S L, Zhang S S, *et al.* Lead induces structural damage, microbiota dysbiosis and cell apoptosis in the intestine of juvenile bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*)[J]. *Aquaculture*, 2020, 528: 735573.
- [45] 齐自元, 曹欢, 胡钰梅, 等. 海产品与淡水产品中重金属的差异性及其风险评价 [J]. *水产学报*, 2022, 46(7): 1246-1256.
- Qi Z Y, Cao H, Hu Y M, *et al.* Differences and risk assessment of heavy metals in seafood and freshwater products[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(7): 1246-1256 (in Chinese).
- [46] 李纯毅, 崔正国, 白莹, 等. 循环水养殖系统重金属的分布特征及鱼体风险评估 [J]. *环境化学*, 2023, 42(3): 733-742.
- Li C Y, Cui Z G, Bai Y, *et al.* Distribution characteristics of heavy metals in recirculating aquaculture system and risk assessment of fish[J]. *Environmental Chemistry*, 2023, 42(3): 733-742. (in Chinese).

Suitability analysis of stocking waters of *Plectropomus leopardus* based on fish growth characteristics and nutrient composition

LIU Qian^{1,2}, LÜ Shaoliang¹, CHEN Ning¹, WANG Xuefeng^{1,2*}

1. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhanjiang), Zhanjiang 524025, China)

Abstract: Global marine fishery resources are declining due to the effects of overfishing, climate change, and environmental pollution. Stock enhancement is considered to be an effective means of increasing the number of biological populations and promoting the sustainable development of fisheries. However, the effectiveness of stock enhancement is affected by many factors. Among them, the habitat conditions at the releasing waters directly affect the released fish's survival rate and growth rate. Therefore, before the fish were released in large numbers, it is important to evaluate the suitability of this water area. At present, the research on evaluating the suitability of the release waters is mainly to carry out the background investigation of the proposed releasing waters by sampling before releasing, including water quality, food organisms, fishery resources and other aspects. However, this investigation method was expensive. A small batch of *Plectropomus leopardus* was first released into the waters and then recaptured them in this study to develop a method for evaluating the suitability of fish-releasing waters. The growth characteristics and muscle nutrients of the recaptured *P. leopardus* and the farmed *P. leopardus* were compared to evaluate whether the waters were suitable for the growth of released fish. The results showed that the allometric growth factor b value of the recaptured and farmed populations of *P. leopardus* was close to 3, showing an isokinetic growth state. The growth condition factor a value of recaptured *P. leopardus* was more significant than that of farmed *P. leopardus*. The condition factor K value was also greater than that of farmed *P. leopardus*. There were no significant difference in moisture, crude ash, crude protein, crude fat, essential amino acid content, and total amino acid content in the recaptured and farmed *P. leopardus* muscles. The contents of monounsaturated fatty acids, C20:4n6, C20:5n3 and C22:6n3, in muscle of recaptured *P. leopardus* were significantly higher than those in farmed *P. leopardus*. There were no significant differences in other elements except manganese and selenium in the recaptured and farmed *P. leopardus* muscles. The lead content in the muscle of recaptured *P. leopardus* was significantly lower than that of farmed *P. leopardus*, and there were no significant differences in other heavy metals. In short, this study indicated that the habitat conditions of the releasing waters could ensure the balance and accumulation of various nutrients to meet the growth and development needs of *P. leopardus*. This study verified the feasibility of evaluating the suitability of fish-releasing waters based on the fish growth characteristics and nutrient composition and formed the evaluation process. It can provide new insight for evaluating the suitability of fish-releasing waters in the future and can also be used for other aquatic species.

Key words: *Plectropomus leopardus*; stock enhancement; suitability of releasing waters; growth characteristics; nutrient component

Corresponding author: WANG Xuefeng. E-mail: xuefeng1999@126.com

Funding projects: National Key Research and Development Program of China (2024YFD2401803); Sino-indonesian Technical Cooperations in Coastal Marine Ranching (12500101200021002); Science and Technology Infrastructure Project of Department of Science and Technology of Guangdong Province (2021B1212110005)