

T/GXAS

团 体 标 准

T/GXAS XXXX—2025

海洋牧场生物承载力评估技术规范

Specification of biocapacity assessment technique in marine ranching

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

广西标准化协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 数据收集 2

5 评估模型构建 5

6 生物承载力评估 8

附录 A（规范性） 海洋牧场 Ecopath 输入参数记录表 9

附录 B（规范性） 海洋牧场生物承载力评估结果输出表 12

参考文献 13

前 言

本文件参照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广西壮族自治区海洋研究院提出并宣贯。

本文件由广西标准化协会归口。

本文件起草单位：中国科学院海洋研究所、广西壮族自治区海洋研究院、国家海洋局北海预报中心、北海市珍源海洋生物有限公司。

本文件主要起草人：张涛、李焰、奉杰、于浩林、曹庆先、王海艳、覃瀛雁、杨成、赵珊、刘俐、吴尔江、杨美洁、宋浩、张振、林承刚、石承开。

海洋牧场生物承载力评估技术规范

1 范围

本文件界定了海洋牧场等内容涉及的术语和定义、规定了海洋牧场生物承载力的数据收集、评估模型构建和生物承载力评估等方法及技术要点。

本文件适用于广西壮族自治区海洋牧场生物承载力评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12763.6 海洋调查规范 第6部分：海洋生物调查

GB/T 18340.2 地质样品有机地球化学分析方法 第2部分：有机质稳定碳同位素测定 同位素质谱法

GB/T 18654.5 养殖鱼类种质检验 第5部分：食性分析

HY/T 140 海洋微型底栖生物调查规范

SC/T 9417 人工鱼礁资源养护效果评价技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

海洋牧场 *marine ranching*

基于海洋生态系统原理，在特定海域，通过人工鱼礁、增殖放流等措施，构建或修复海洋生物繁殖、生长、索饵或避敌所需的场所，增殖养护渔业资源，改善海域生态环境，实现渔业资源可持续利用的渔业模式。

[来源：SC/T 9111—2017，3.1]

3.2

生物承载力 *biological carrying capacity*

维持海洋牧场生态系统稳定并可持续发展前提下，生态系统能支持某生物或生物功能组的最大生物量。

[来源：T/SCSF 0007—2021，3.7，有修改]

3.3

功能组 *functional group*

在目标海洋牧场的特定调查时间内，具有相似功能的物种组成的生物组。

注：也可以表示单一物种，处于同一年龄或者相同大小阶段的单一物种群体，以及有机碎屑。

3.4

生物量 *biomass*

单位面积或者体积内生物体或者有机碎屑的总重量。

[来源：GB/T 15919—2010，2.57，有修改]

3.5

生产量 *production*

一定时间内生物产生的有机物的总量。

[来源：GB/T 15919—2010，2.58]

- 3.6 摄食量 consumption
一定时间内消费者生物摄入的食物总量。
- 3.7 呼吸量 respiration
一定时间内生物呼吸作用消耗的物质或者能量总量。
- 3.8 生物量积累量 biomass accumulation
一定时间内某个生物或生物组的生物量增加量。
- 3.9 未消化吸收食物比例 unassimilated consumption rate
一定时间内消费者生物未消化吸收的食物量占总摄食量的比例。
- 3.10 生态营养学效率 ecotrophic efficiency
一定时间内，生态系统中某一功能组被生态系统利用的生产量（包括生物量积累量、被捕食量、被捕捞量、迁移量等）占总生产量的比值。
- 3.11 食物组成 diet composition
特定调查时间内，消费者所摄食的食物种类基于重量加权的组成比例。
- 3.12 置信度 degree of confidence
描述Ecopath模型输入数据可靠性的参数。

4 数据收集

4.1 生物量

4.1.1 浮游植物生物量

宜利用细胞体积转化法测定浮游植物生物量，或者按GB/T 12763.6描述的方法测定海洋牧场浮游植物叶绿素含量，依据表1中叶绿素与浮游植物有机碳含量之间转换关系获取浮游植物生物量。

表1 海洋硅藻、甲藻浮游植物有机碳与叶绿素含量的比值

浮游植物类群	海洋浮游植物有机碳与叶绿素含量比值
硅藻	32.9~35.2
甲藻	92.6~120

4.1.2 浮游动物、浮游细菌、大型底栖动物、小型底栖动物生物量

按GB/T 12763.6描述的方法测定。

4.1.3 底栖微藻、底栖细菌生物量

按HY/T 140描述的方法测定。

4.1.4 礁体附着生物生物量

按SC/T 9417描述的方法测定。

4.1.5 游泳动物生物量

非鱼礁区游泳动物生物量按GB/T 12763.6描述的方法测定，鱼礁区游泳动物生物量按SC/T 9417描述的方法测定。

4.1.6 碎屑生物量

宜采用灼烧法测定水体或者沉积物中总有机物含量,利用总有机物含量减去水体或者沉积物中各生物组分有机物含量,获得水体或者沉积物中碎屑含量;或水体中碎屑生物量用式(1)估算:

$$\log_{10} D = -24 + 0.954 \log_{10} PP + 0.863 \log_{10} E \quad (1)$$

式中:

D ——水体碎屑生物量,单位为克碳每平方米, gC/m^2 ;

PP ——水体初级生产力,单位为克碳每平方米每年, $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$;

E ——真光层深度,单位为米, m 。

4.2 生产量与生物量比(P/B)值

4.2.1 浮游植物 P/B 值

按GB/T 12763.6描述的方法测定浮游植物生产量,结合浮游植物生物量计算获得。

4.2.2 大型海藻、海草 P/B 值

宜使用收割法、黑白瓶法和放射性同位素测定法等测定大型海藻、海草生产量,结合大型海藻、海草生物量值计算获得。

4.2.3 浮游动物 P/B 值

宜基于原位实验测定浮游动物呼吸量,或浮游动物呼吸量按式(2)计算,再将以氧气计的呼吸量转化为以碳计的呼吸量按式(3)计算,将浮游动物呼吸量转化为生产量按式(4)计算,结合浮游动物生物量计算获得P/B值:

$$\ln R_0 = 0.7886 \ln DW + 0.0490T - 0.2512 \quad (1)$$

式中:

R_0 ——以氧气计的浮游动物呼吸量,单位为微升氧气每个每小时, $\mu\text{L O}_2/(\text{ind} \cdot \text{h})$;

DW ——浮游动物的平均个体干重,单位为毫克, mg ;

T ——平均水温,单位为摄氏度 $^{\circ}\text{C}$ 。

$$R_C = 12.47 \times 10^{-3} R_0 \quad (2)$$

式中:

R_0 ——以氧气计的呼吸量,单位为微升氧气每个每小时, $\mu\text{L O}_2/(\text{ind} \cdot \text{h})$;

R_C ——以碳计的呼吸量,单位为毫克碳每个每天, $\text{mg C}/(\text{ind} \cdot \text{day})$ 。

$$P_Z = 0.75 R_Z \quad (3)$$

式中:

P_Z ——浮游动物生产量,单位为毫克碳每平方米每天, $\text{mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$;

R_Z ——浮游动物呼吸量,单位为毫克碳每平方米每天, $\text{mg C}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ 。

4.2.4 浮游细菌、底栖细菌 P/B 值

按GB/T 12763.6描述的方法测定细菌生产力,结合浮游、底栖细菌生物量值计算获得。

4.2.5 其它无脊椎动物 P/B 值

其它无脊椎动物P/B值参考式(5)计算:

$$\log_{10} (P/B)_{iv} = 8.256 - 2.22 \log_{10} W_{iv} - 2432.055 [1/(T+237)] + 0.239(1/D) + 0.241 + 0.203 (DL_ln Epi) + 0.242(DL_MEpi) - 0.287(DT_M) - 0.203 (DT_P) - 0.128 (DT_C) - 0.475(DT_E) \quad (1)$$

式中:

$(P/B)_{iv}$ ——该无脊椎动物的P/B值,单位为每年, $/\text{year}$;

W_{iv} ——该无脊椎动物的平均个体质量，单位为千焦每平方米， kJ/m^2 ；

T ——平均水温，单位为摄氏度， $^{\circ}\text{C}$ ；

D ——水深，单位为米， m ；

DL_lnEpi ——如果该大型无脊椎动物为底内生物（infauna），则表示数字1，如果是底表生物（epifauna），则表示0；

DL_MEpi ——如果该大型无脊椎动物为底表生物（epifauna），则表示数字1，如果是底内生物（infauna），则表示0；

DT_M ——如果该大型无脊椎动物为软体动物门生物，则表示数字1，如果不是，则表示数字0；

DT_C ——如果该大型无脊椎动物为甲壳纲生物，则表示数字1，如果不是，则表示数字0；

DT_E ——如果该大型无脊椎动物为棘皮动物门生物，则表示数字1，如果不是，则表示数字0。

4.2.6 鱼类P/B值

生态系统稳定情况下，鱼类P/B值等于总死亡率，即捕捞死亡率和自然死亡率之和，对未开发的渔业资源，自然死亡率等于总死亡率。鱼类自然死亡率参考式（6）计算：

$$M = K^{0.65} \times L_{\infty}^{-0.279} \times T_C^{0.463} \quad (1)$$

式中：

M ——自然死亡率，单位为每年，/year；

$K^{0.65}$ ——VBGF生长方程中生物生长系数，单位为每年，/year；

L_{∞} ——渐进体长，单位厘米。 cm ；

T_C ——年平均水温，单位为摄氏度。 $^{\circ}\text{C}$ 。

4.3 摄食量与生物量比（Q/B）值

4.3.1 浮游动物Q/B值

在获取浮游动物生产量的基础上，浮游动物摄食量依据式（7）计算，结合浮游动物生物量计算获得Q/B值：

$$P_z/Q_z = 0.3 \quad (1)$$

式中：

P_z ——浮游动物生产量，单位为：克每平方米每年， $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ ；

Q_z ——浮游动物摄食量，单位为：克每平方米每年， $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ 。

4.3.2 浮游细菌Q/B值

在获取浮游细菌生产量的基础上，浮游细菌摄食量依据式（8）计算，结合浮游细菌生物量计算获得Q/B值：

$$Q_b = [P_b \times (1.8 + P_b)] / [(0.037 + 0.65 \times P_b)] \quad (1)$$

式中：

Q_b ——浮游细菌摄食量，单位为：克每平方米每年， $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ ；

P_b ——浮游细菌生产量，单位为：克每平方米每年， $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})$ 。

4.3.3 其它无脊椎动物Q/B值

先计算该无脊椎动物呼吸量与生物量比（R/B）值依据式（9）计算，再计算其Q/B值依据式（10）计算：

$$\log_{10} (R/B)_{iv} = 8.3732 - 0.2073 \log B_{iv} - 27.66.0235/T_k \quad (1)$$

式中：

$(R/B)_{iv}$ ——该无脊椎动物R/B值，单位为每天，/day；

B_{iv} ——该无脊椎动物生物量，单位为焦耳， J ；

T_k ——开尔文温度，单位为开尔文 K 。

$$(Q/B)_{iv} = (P/B)_{iv} + (R/B)_{iv} + (U/B)_{iv} \dots\dots\dots (2)$$

式中：
(Q/B)_{iv}——该无脊椎动物Q/B值，单位为每天，/day；
(P/B)_{iv}——该无脊椎动物P/B值，单位为每天，/day；
(R/B)_{iv}——该无脊椎动物R/B值，单位为每天，/day；
(U/B)_{iv}——该无脊椎动物未消化吸收食物量与生物量比值，单位为每天 /day。

4.3.4 鱼类 P/B 值

鱼类P/B值按式（11）计算，其中水温 T_{k1} 按式（12）计算，鱼类尾鳍长宽比A按式（13）计算：

$$\log (Q/B)_f = 7.964 - 0.204 \log W_{\infty} - 1.965T_{k1} + 0.083A + 0.532h + 0.398d \dots\dots\dots (1)$$

式中：
(Q/B)_f——该种类鱼Q/B值，单位为每年，/year；
 W_{∞} ——该种类鱼渐进体重，单位为克，g；
 T_{k1} ——为水温的一种表达形式；
A——鱼类尾鳍长宽比；
h——设定的变动食物类型指数，当该种类鱼为植食性时表示数字1，为肉食性或碎屑食性时表示数字0；
d——设定的变动食物类型指数，当该种类鱼为碎屑食性时表示数字1，为肉食性或草食性时表示数字0。

$$T_{k1} = 1000/(T+273.15) \dots\dots\dots (2)$$

式中：
T——年平均水温，单位为摄氏度，℃；

$$A = \frac{h_c^2}{s} \dots\dots\dots (3)$$

式中：
 h_c ——鱼类尾鳍的高度，单位为厘米，cm；
s——鱼类尾鳍的表面积，单位为平方厘米，cm²。

4.4 生物量积累量

按照4.2要求，调查海洋牧场各生物在实验开始、结束时的生物量，基于实验结束时生物量减去实验开始时生物量获得生物量积累量。

4.5 消费者生物食物组成

应采用胃含物分析法和碳稳定同位素分析法测定海洋牧场消费者生物食物组成，并将海洋牧场消费者生物食物组成记录至附录表格A.3中。胃含物分析法按GB/T 18654.5描述的方法执行，碳稳定同位素分析法按GB/T 18340.2描述的方法执行。

4.6 消费者生物未消化吸收食物比例（Ui）值

应基于各生物排粪（包括假粪）和排泄量占总摄食量比例确定。草/藻食性、碎屑食性生物以及浮游动物该值一般取0.4，其它各生物该值一般取0.2。

4.7 重要经济生物捕捞量

依据海洋牧场各经济生物的年捕捞量确定。

5 评估模型构建

5.1 模型选择

宜选择生态系统能量流动模型 Ecopath with Ecosim 6.4及以上版本。

5.2 模型构建

5.2.1 模型设置

5.2.1.1 模型单位：

可以使用能量（如千焦耳每平方米 kJ/m^2 ）、生物量（如生物量湿重 g/m^2 ）或者营养元素形式（如碳含量 $\text{g C}/\text{m}^2$ 、或氮含量 $\text{g N}/\text{m}^2$ 、或磷含量 $\text{g P}/\text{m}^2$ ）来表示

5.2.1.2 模型模拟周期

可以为1年，或者数年，或者1个季节。

5.2.1.3 模拟区域

海洋牧场所处海域范围。

5.2.2 功能组划分

5.2.2.1 依据各生物在海洋牧场生态系统中承担的功能划分功能组，并将各功能组组成生物种类记录至附录表格 A.1 中。

5.2.2.2 海洋牧场各生物食性、栖息空间、运动规律等生态位特征和种群结构、P/B、Q/B 值大小、形态特征等宜作为判定各生物在生态系统中承担的功能的依据。

5.2.2.3 海洋牧场生物承载力评估目标种宜单独组成一个功能组；对海洋牧场生态系统结构功能、目标种生物承载力评估结果具有较大影响的生物，其功能组划分应尽量详细。

5.2.2.4 海洋牧场功能组应包括初级生产者、消费者和有机碎屑三类功能组，应覆盖海洋牧场所有的生物和有机物组分。

5.2.3 模型参数输入

5.2.3.1 模型参数

包括各功能组生物量、P/B值、Q/B值、 U_i 值、生物量积累量、捕捞量和食物组成。

5.2.3.2 数值确定

各功能组生物量、生物量积累量、捕捞量：由该功能组各组成生物相关参数加和获得。各功能组的P/B值、Q/B值、食物组成：依据该功能组各组成生物生物量占功能组总生物量比例，确定各组成生物在该功能组所占权重，结合各生物相关参数加权获得。将海洋牧场各功能组生物量、P/B、Q/B、 U_i 、生物量积累量和捕捞量参数记录至附录表格A.2，食物组成参数记录至附录表格A.3。

5.2.3.3 参数输入

将以上参数作为Ecopath模型输入参数，建立海洋牧场Ecopath模型。

5.2.4 型平衡调试

应按照表2所示的调试方式进行。

表2 海洋牧场 Ecopath 能流模型平衡调试原则

调试原则	调试方法	备注
各功能组EE值小于或者等于1	基于该功能组在其捕食者食物组成中所占比例值范围，适当降低比例值（每次调整不超过5%），或者在合理范围内适当提高该功能组P/B值、降低其捕食者Q/B值	各消费者功能组食物组成数据是最不稳定的输入参数，通常先对各功能组食物组成数据进行调整
大部分功能组的生长量与摄食量比(P/Q)值在0.1~0.3之间	调整模型输入参数中的P/B和Q/B值，尽量调整灵敏度较低的参数	细菌、桡足类无节幼体、幼鱼和其它快速生长的动物P/Q值可以高于0.3

调试原则	调试方法	备注
各功能组呼吸量与同化量比（R/A）值小于1，且能有效反映生物代谢水平	调整模型输入参数中的P/B值和U _i 值，尽量调整灵敏度较低的参数	一般情况下，K选择物种组成的功能组R/A值较接近1，R选择物种组成的功能组R/A值远小于1

表2 海洋牧场 Ecopath 能流模型平衡调试原则（续）

调试原则	调试方法	备注
各功能组R/B值能有效反映生物代谢水平	调整模型中P/B、Q/B和Ui值，尽量调整灵敏度较低的参数	活动较多的功能组R/B值大于活动较少的功能组，鱼类功能组R/B值一般为1/年~10/年，浮游动物功能组R/B值可能高至50/年~100/年

5.2.5 模型置信度评价

采用Pedigree指数对模型置信度进行评价。Pedigree值由模型输入数据的可靠性决定，Pedigree值越高，表明模型置信度越高。模型Pedigree值与模型输入数据来源、置信度关系如表3所示。

表3 海洋牧场 Ecopath 模型 Pedigree 值与数据来源、模型置信度关系

模型Pedigree值	数据来源	置信度
0~0.1	主要来源于主观猜测与Ecopath模型计算	极低
0.1~0.2	主要来源于其它模型数据与主观猜测	很低
0.2~0.5	主要来源于经验关系式计算与其它模型数据	较低
0.5~0.6	主要来源于经验公式计算与相似生态系统中相似物种的实测数据	一般
0.6~0.7	主要来源于相同或相似生态系统中相似物种的实测数据	较高
0.7~1.0	主要来源于相同或者相似生态系统中相同物种的实测数据	很高

5.2.6 模型验证

5.2.6.1 应利用氮稳定同位素分析方法确定的海洋牧场各生物功能组营养级，并与 Ecopath 模型输出的各生物功能组营养级进行相关性分析，验证模型输入参数中消费者功能组食物组成参数的准确性。相关性越高，表明模型中各消费者功能组食物组成数据准确性越高。

5.2.6.2 对于具有多年（≥10 年）生物资源调查或者捕捞数据的海洋牧场，宜在建立的 Ecopath 模型基础上，构建海洋牧场 Ecosim 模型，利用 Ecosim 模型模拟海洋牧场生物资源动态变化，与实际调查或者捕捞数据进行拟合分析，验证海洋牧场 Ecopath 模型的准确性。

6 生物承载力评估

6.1 生物承载力评估方法

基于Ecopath模型的海洋牧场生物承载力计算方法：建立目标海洋牧场平衡合理的Ecopath模型后，逐步提高模型中目标生物（组）生物量，当目标生物（组）的生物量提高到引起生态系统某一功能组的EE值出现等于或略大于1的情况时，目标生物（组）的生物量为海洋牧场生态系统所能承载的该生物（组）最大生物量，即生物承载力。当完成对目标生物（组）承载力的评估后，将评估结果记录至附录表格B.1。

6.2 生物承载力表示方法

生物承载力应以生物量或者个体数量表示。当以生物量表示时，海洋牧场生物承载力单位宜为克每平方米 g/m^2 ；当以个体数量表示时，应根据该生物初次性成熟个体重，计算海洋牧场生物承载力，单位宜为个每平方米 ind/m^2 。

附 录 A
(规范性)
海洋牧场 Ecopath 输入参数记录表

海洋牧场Ecopath输入参数记录表见表A. 1～表A. 3。

表 A. 1 海洋牧场各功能组组成生物

海洋牧场名称：_____模型模拟时间：_____

共____页 第____页

编号	功能组	种类组成
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
...		

填表者：_____校对者：_____审核者：_____

表 A.2 海洋牧场 Ecopath 模型输入参数（生物量、P/B、Q/B、U_i、生物量积累量和捕捞量）

海洋牧场名称：_____ 模型模拟时间：_____

共____页 第____页

编号	功能组	生物量 /(g/m ²)	P/B /(/year)	Q/B /(/year)	U _i	生物量积累量 /(g/m ²)	捕捞量 /(g/m ²)	EE
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
...								
注：P/B值表示某一功能组生产量与生物量比值，Q/B值表示某一功能组摄食量与生物量比值，U _i 表示消费者功能组未消化吸收食物比例值，EE为生态营养学效率值								

填表者：_____ 校对者：_____ 审核者：_____

表 A.3 海洋牧场消费者功能组食物组成表

海洋牧场名称：_____模型模拟时间：_____

共____页 第____页

编号	猎物	消费者								
		1	2	3	4	5	6	7	8	...
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
...										
总值		1	1	1	1	1	1	1	1	1

注：消费者功能组的食物组成按照猎物在该功能组总摄食量中所占重量比例来表示，该功能组摄食总比例值是1

填表者：_____校对者：_____审核者：_____

附录 B
(规范性)

海洋牧场生物承载力评估结果输出表

海洋牧场生物承载力评估结果输出表见表B. 1。

表 B. 1 海洋牧场生物（组）承载力

海洋牧场名称：_____ 评估时间：_____ 共____页 第____页

功能组	生物承载力/(g/m ²) 或 (ind/m ²)

填表者：_____ 校对者：_____ 审核者：_____

参 考 文 献

- [1] GB/T 15919 海洋学术语 海洋生物学
 - [2] SC/T 9111 海洋牧场分类
 - [3] SC/T 9403 海洋渔业资源调查规范
 - [4] DB37/T 2982.4 海洋牧场建设规范 第4部分：监测与评价
 - [5] T/SCSF 0007 海洋牧场资源增殖技术指南
-