

鱼类洄游预测及渔业建议

海洋环境变化下

总结

全球变暖的影响已经引起了全世界越来越多的关注。特别是，全球变暖导致苏格兰周围海域的温度上升，威胁到包括苏格兰鲱鱼和鲑鱼在内的鱼类物种的生存。鱼类很可能会迁移到海水温度较低的北方，以寻求更好的生存环境。

我们从灰色预测模型开始，结合历史上世界温室气体排放、森林覆盖率和世界人口数据，预测未来 50 年的海洋表面温度。

然后，我们构建了两种鱼类的海洋环境指数。我们对海洋不同区域的海表温度、平均海表盐度和海深进行加权，得到两种鱼类当前环境的得分。每一种鱼类都有一个对环境的偏好范围，我们称之为舒适区。

在鱼类洄游模型中，我们根据预测的温度数据计算两种鱼类的环境指数。鱼类判断当前环境，选择是否迁移到更适合的环境。我们发现，在未来的 50 年里，鲱鱼会逐渐向靠近挪威的东北方向移动，鲑鱼会慢慢向靠近冰岛的西北方向移动。

因此，我们考虑了苏格兰的渔民。由于小型渔业公司的技术缺陷，如果渔船离大陆架太远，就会面临能源不足、安全性低、鱼类保鲜困难等问题。因此，我们根据温度变化的快慢，结合最佳、最差和最有可能的情况，来估算渔民在其捕捞区域内无法捕获这两种鱼类所需的时间。我们发现，在最可能的情况下，2063 年捕捞的鲱鱼数量将为 0，鲑鱼数量将逐年减少。最坏的情况是，鲱鱼可能早在 2044 年就不会出现在水域，而鲑鱼在 2068 年就会出现捕鱼困难。因此，我们认为未来苏格兰海域的鱼量将会减少，从而使小型渔业公司的利润减少甚至亏损。这个问题可能会很严重，小型渔业公司必须采取措施防止更糟糕的情况发生。

为了考虑小的苏格兰渔业公司如何改变他们的经营方式，我们得到了渔船的成本，渔船的数量，捕捞的鱼的数量和鱼的价格。根据这些数据，我们预测公司的净利润，帮助这些公司进行分析和决策。同时，我们分析是否有一部分渔业转移到另一个国家和领海。

针对苏格兰小型渔业公司极有可能面临的困境，我们提出了“两步走”的发展战略，包括国内和海外企业资产转型。

最后，讨论了该模式的优势和不足，并为企业提出了科学的、切实可行的建议。



关注数学模型
获取更多资讯

内 容

1.介绍	2
1.1 问题的背景	2
1.2 我们的工作	2
2.假设	3
3.符号	3
4.迁徙路线的鱼	4
4.1 数据处理	4
4.1.1 数据采集	
4.1.2 数据截取	
4.2 为 TSS 灰色模型	4
4.2.1 相关分析	
4.2.2 模型推导	
4.2.3 结果分析	
4.2.4 优势与劣势	
4.3 为鱼路线模型	8
4.3.1 鱼的区域	
4.3.2 影响鱼类生活场所的因素	
4.3.3 鱼类轨迹预测	
4.3.4 敏感性检验	
4.3.5 优点和缺点	
5.钓鱼时间在三个案例	11
5.1 捕鱼区	12
5.2 运行钓鱼时间	13
5.3 灵敏度测试	13
5.4 优势和劣势	14
6.小渔公司的操作	14
6.1 小型渔业公司的利润	14
6.2 结论和建议	15
7.扎根在家里或在国外进一步发展	17
8.文章对钩线和伸卡球	17
9.参考文献	23
10.附录	23

有道文档翻译
pdf.youdao.com

我的介绍。

1.1 问题背景

全球变暖对世界生态环境产生了潜移默化的影响。为了找到最合适的栖息地，生物的生存和繁殖栖息地会慢慢“迁移”。

在生物迁移的过程中，那些利用这些生物牟利的企业将面临生计问题。苏格兰鲱鱼和鲑鱼是英国和苏格兰的主要鱼类。气候的影响可能导致这些鱼向北迁移。

这两种鱼类的位置变化，对于小型渔业公司来说无疑是一个挑战。小渔公司没有足够的技术支持。当鱼群远离大陆架时，如果渔船驶离大陆较远，就会面临危险、能量不足、鱼群无法返岸等问题。

1.2 我们的工作

为了了解小型渔业公司如何应对气候变暖和生物迁移，我们需要建立鱼类迁移模型，并根据鱼的数量确定公司的利润曲线。然后，对盈利问题提出建议。

针对这些问题，我们团队会做以下工作：

- 状态假设并做标注。忽略一些无关紧要的影响，我们将缩小我们方法的核心，以实现鱼类洄游和公司盈利能力。然后，我们列出了一些对我们很重要的符号，以澄清我们的模型并确定它们的定义。
- 建立未来 50 年海洋表面温度的预测模型。我们应用灰色理论，结合温室气体含量、森林覆盖率和全球人口，对给定区域未来 50 年的海表温度(SST)进行精确预测。海洋表面温度的变化对鱼类洄游有本质的影响。
- 建立两种鱼类的迁徙模型。通过建立迁徙模型
- 对于这两种鱼类的模型，我们可以确定这两种鱼类在 50 年内是否会迁移，以及它们将迁移到哪里。
- 建立小型渔业公司的盈利模式。通过预测小渔业公司未来的盈利趋势，我们可以对这些公司的运营建设提出建议。
- 讨论我们模型的优缺点和结论

2 假设

为了简化给定的问题，我们对我们的模型做以下假设：

- 1.在未来的 50 年里，全球变暖的问题没有明显改善。
- 2.海洋表面温度是影响鱼类迁徙的重要因素，温度变化足以引起物种迁徙。研究区域的海表盐浓度和海洋深度不会有太大变化。
- 3.这两种鱼成群迁移。鱼心每年的迁移距离有一个最大上限，在经纬度格网的两个格网范围内。
- 4.忽略其他鱼种的变化对小型渔业公司盈利能力的影响。
- 5.未来渔船成本不会大幅波动。
- 6.未知水域的海流和风所带来的风险，跨境捕鱼协定中的捕鱼限制和关税等问题对捕鱼公司的影响，都可以抽象为跨境捕鱼阻力系数。

3 符号

我们在表 1 中列出了本文使用的符号和符号。

表 1 符号

符号	定义
$\frac{\partial}{\partial}$	环境因素与人为因素的影响比
$\frac{\partial}{\partial}$	对海面温度的影响
C	灰色预测的测试错误率
E	鱼类环境指数
$\frac{\partial}{\partial}$	影响 E 的重量
风场	海面温度
瑞士	海面盐度
SD	海洋的深度
CZ	鱼的环境舒适区
TFC	苏格兰渔业公司的年度总成本
$\frac{\partial}{\partial}$	每艘渔船平均每年总捕鱼收入
因为	每艘船的年捕捞成本
病死率	欧盟船只年数
气	年渔获量 i
π	鱼的平均价格 i
NP	苏格兰渔业公司年度净利润
$\frac{\partial}{\partial}$	挪威国外捕鱼的阻力系数
C_{res}	冰岛国外捕鱼的阻力系数

有道文档翻译
pdf.youdao.com

四、鱼类洄游路线

4.1 数据处理

4.1.1 数据采集

我们使用的是英国气象局哈德利中心(Met Office Hadley Center)发布的 1870 年至今的全球海面温度数据。在数据中，温度被存储为 $C * 100$ 度。100%海冰覆盖的网格框标记为- 1000，陆地正方形设置为- 32768。如下图所示，数据是覆盖全球数据，用整数表示纬度和经度，用于数据存储。

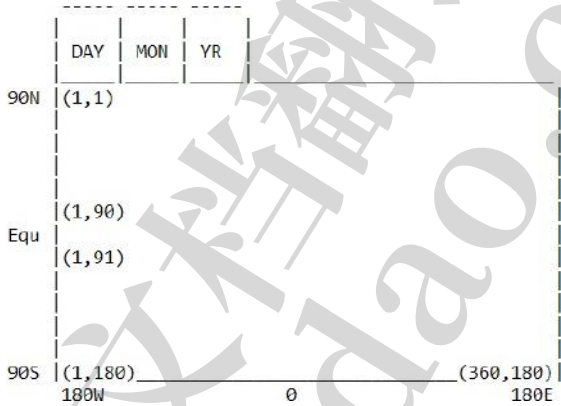


图 1

4.1.2 数据截取

为了获得苏格兰的图像，我们定位在英国及其周围。根据海域的大小和鱼类的游动范围，我们将区域划分为 57N-65N 和 20W-4E。我们最终得到 150*9*25 年的数据。

4.2 TSS 的灰色模型

在下面的讨论中，我们发现 1970 年地球经历了一场寒潮，全球气温直线下降。为了减轻寒潮对海温预测的影响，我们将使用 1980 - 2019 年的数据来预测未来 50 年的海温。然而，这 40 年的数据不足以预测未来 50 年的温度趋势。鉴于目前的情况，我们设计了一个灰色预测模型来获得更可靠的数据，从而成功地克服了数据量的不足。

使用灰色预测模型的好处是，在没有可访问数据的情况下，我们可以得到更可靠的结果，这与我们目前的情况完全一致。全球变暖的影响因素包括环境因素和人为因素，分别与温室气体占比、森林覆盖率和人口[6]有关。这些因素的变化将影响全球温度的变化。因此，如果我们捕捉并量化各种指标与全球海洋温度之间的相互依赖系数，就可以准确预测

基于过去几十年温室气体份额、森林覆盖和人口数据的 SST。

4.2.1 相关性分析

首先，选取如下参考序列：

$$x_0 = \{x_0(j) | j = 1, 2, \dots, n\} = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n))$$

在这种情况下，第二个序列表示为

$$x_i = \{x_i(j) | j = 1, 2, \dots, n\} = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)), i = 1, \dots, m$$

所以，x 之间的相关性 r_i 和 x_0 是

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi_i(j)$$

在哪里

$$\xi_i(k) = \frac{\min_s \min_t |x_0(t) - x_s(t)| + \rho_s^{\max} |x_0(t) - x_s(t)|^{\max}_t}{|x_0(t) - x_s(t)| + \rho_s^{\max} |x_0(t) - x_s(t)|^{\max}_t}$$

因此，我们使用 r_i 来描述 x 之间的相关程度 r_i 和 x_0 ，即描述 x 变化的效果 r_i 在 x_0 。

对全球海表温度的影响可分为环境因素和人为因素。前者分为温室气体含量和森林覆盖率，后者主要以人口为主。但是，各因子对海温的影响是不平等的。我们将 20 年来海表温度的变化定义为序列 x_0 ，并将温室气体含量、森林覆盖率和人口数量按序定义为 x_1 ， x_2 和 x_3 分别。我们使用 PYTHON 进行计算，结果如下表 2 所示。

表 2 SST 相关性分析

因素	副学士(1)	Sub-factors	大专文凭 (2)
人类因素	0.9988	温室	0.9784
		气体的排放	0.9388
		森林面积	
环境因素	0.6423	人口	0.9132

4.2.2 模型推导

根据灰色系统理论，物理外观虽然复杂，但始终具有整体功能，因此必然包含一些内在规律。关键是如何选择正确的方式去挖掘和使用它。灰色系统通过对原始数据的排列来寻求其变化规律，这是一种探索数据现实状态的方式，即灰色序列的产生。所有的灰序列都可以弱化

有道文档翻译
pdf.youdao.com

它们的随机性和规律性贯穿了几代人。GM(1,1)是灰色模型中常用的一阶微分方程模型。在本文中，我们使用增强的 GM(1,1)模型结合其他影响因素来预测 STT。

我们定义 $X^{(0)}$ 为 1980 - 2020 年 STT 的原始数据序列:

$$X^{(0)}=\{X_1^{(0)},X_2^{(0)},X_3^{(0)}...X_n^{(0)}\}$$

然后我们得到白化后的方程:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt}+aX^{(1)}=b$$

, $X^{(1)}$ 是 X 的累积生成运算序列 $^{(1)}$ 。然后我们用最小二乘法(OLS)得到参数 a 和 b 为:

$$\hat{a}=(B^TB)^{-1}B^TY$$

在哪里

$$B=\begin{bmatrix}-z_2^{(1)} & 1 \\ -z_3^{(1)} & 1 \\ \dots & \dots \\ -z_n^{(1)} & 1\end{bmatrix} \quad Y=\begin{bmatrix}X_2^{(0)} \\ X_3^{(0)} \\ \dots \\ X_n^{(0)}\end{bmatrix}$$

$$z_k^{(1)}=0.5(X_K^{(1)}+X_{K-1}^{(1)})$$

模型各自的时间响应序列为:

$$\hat{x}_{k+1}^{(1)}=(X^{(0)}(1)-\frac{b}{a})e^{-ak}+\frac{b}{a} \quad k=1,2,3,...,n-1$$

$X^{(0)}(k)+1$, 然后我们可以相减得到 $X^{(0)}$ 。我们可以得到

$$\hat{x}_k^{(0)}=\hat{x}_k^{(1)}-\hat{x}_{k-1}^{(1)}$$

为了检验模型，我们将灰色预测序列定义为:

$$\hat{X}^{(0)}=\{\hat{X}_1^{(0)},\hat{X}_2^{(0)},\hat{X}_3^{(0)}...\hat{X}_n^{(0)}\}$$

残差可以得到:

$$e_k=x_k^{(0)}-\hat{x}_k^{(0)},k=1,2,...,n$$

计算方差 S_1 原始序列 $x^{(0)}$ 方差 S_2 剩余 e 的方差

$$S_1 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k^0 - \bar{x})^2 \quad S_2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (e_k^0 - \bar{e})^2$$

最后是 S 的测试错误率 ϵ_1 和 ϵ_2 计算

有道文档翻译
pdf.youdao.com

$$C=\frac{S_2}{S_1}$$

4.2.3 结果分析

我们使用这个模型预测了数据中 225 个位置的 SST，并使用其中的 20 个作为验证。

以其中一个点为例，2045 年和 2070 年的 SST 预测结果如图 2 所示。

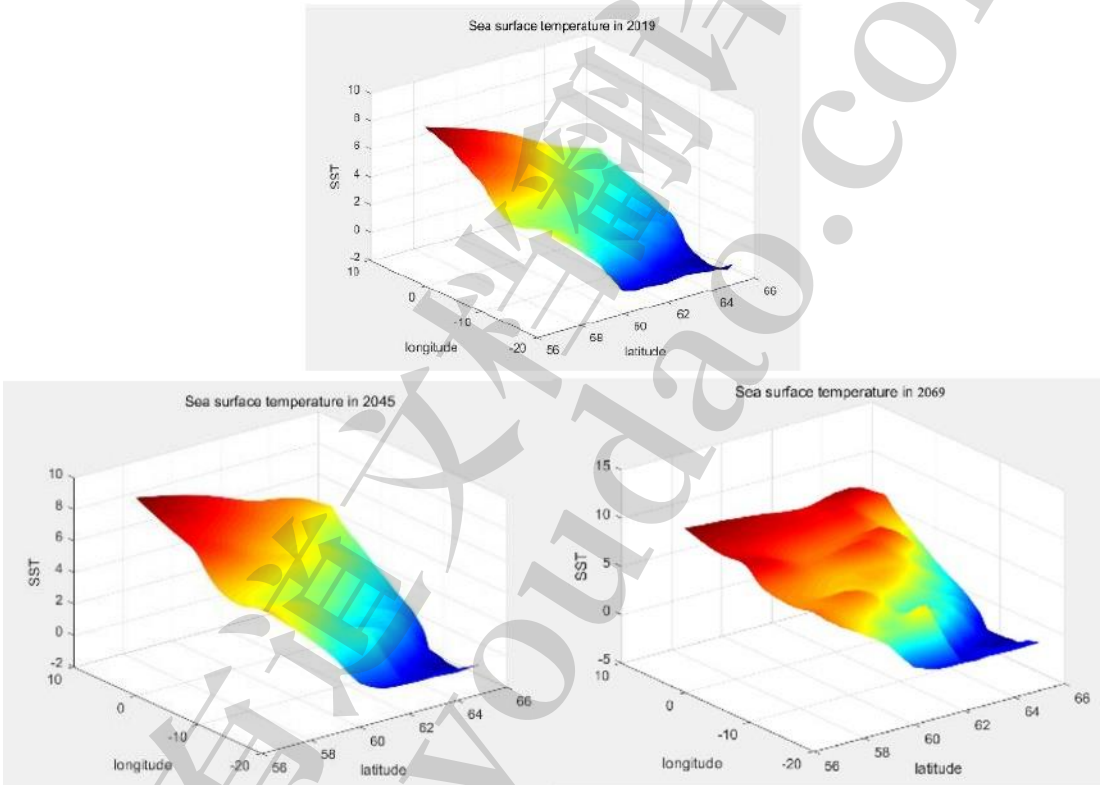


图 2

然后我们计算 S_1 的接受率 S_2 在验证集上，以某一区域为例。(表 3)

虽然预测数据在最后几年的偏差较大，但 c 检验错误率处于一个较小的水平，模型用于预测是可以接受的。

我们可以预测未来 50 年的 SST。

表 3			
一年	实际风场	预测海温	e
2005	3.4208	3.2255	0.1953
2006	3.4508	3.5152	-0.0644
2007	3.3708	3.71	-0.3392
2008	3.7075	4.0165	-0.309
2009	3.605	4.2045	
2012	3.4433	4.8792	-1.4359

2013	3.435	4.8229	-1.3879
2014	4.46	5.24	-0.78
2015	3.645	5.6846	-2.0396
2016	4.0625	6.165	-2.1025
2017	3.9958	6.6548	-2.659
2018	3.7458	7.1687	-3.4229
2019	3.8316	7.727	-3.8954
C		0.55	

4.2.4 优势与劣势

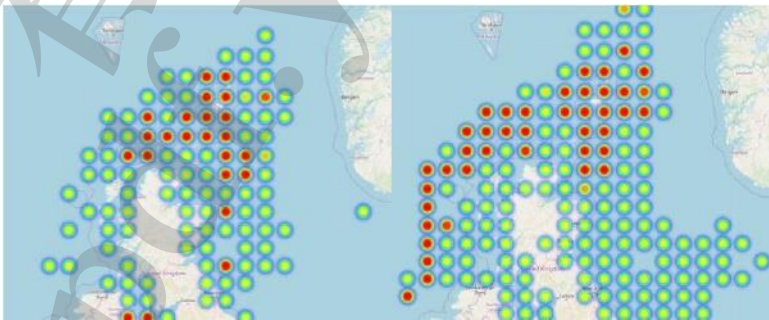
- 优势:灰色模型不需要大样本供应，结合其他因素预测未来 SST。该模型也具有较高的准确性。
- 弱点:该模型预测的时间总共为 50 年。预测的距离越远，时间误差越大。

4.3 鱼的路线模型

4.3.1 鱼的区域

我们获得了根据 ICES(国际海洋探索理事会)矩形格网分类系统提供的数据。[5]这些数据包含了过去 5 年在英国周围水域的网格中捕获的不同种类的鱼的数量。

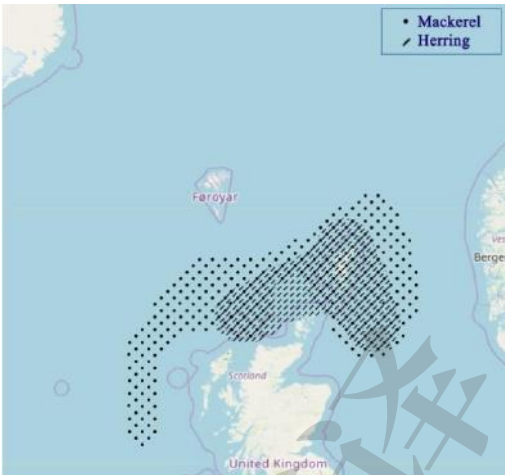
其中，图 S1 和 S2 是近五年来鲱鱼和马鲛鱼的渔获量和地理分布。我们可以大致判断出这两种鱼类的分布范围如图 S3。(图 3)



(S1)鲱鱼 (S2)鲭鱼

(红色表示数量(吨)大于 1000，绿色表示低于 1000)

有道文档翻译
pdf.youdao.com



(S3)两种鱼类的区域

图 3

这两片水域是青鱼和鲱鱼的主要生存环境，也是这两种鱼这五年来捕捞最多的水域。从分布图中我们可以看出，青鱼比鲱鱼对环境的适应能力更强，能够在不断变化的环境中生存。

4.3.2 影响鱼类生存场所的因素

根据以往的研究，鱼类的空间分布与海洋的 SST、水深、平均海表盐度(SSS)[1]有关。海深数据来自全球海洋海深图，海表温度数据来自冰数据[5]。

在上述数据集中，我们可以获得两种鱼类的三个环境参数的组合。我们用 1980-2018 年期间的平均值来确定地理位置的平均环境组合。我们结合专家法，为影响鱼类生命的三个因素分配权重。最后，生态指数可以表示为：

$$E = \beta_1 * SST + \beta_2 * SSS + \beta_3 * BM$$

其中 β_i 为该因子对鱼类环境指数的影响程度

在哪

偏好。

然后，我们得到了两个物种的环境评价系数:表 4

物种	1	2	3
鲱鱼	0.69	0.21	0.10
青鱼	0.56	0.25	0.19

4.3.3 鱼类轨迹预测

我们假设 SST 是影响鱼类洄游的唯一因素，SSS 和海水深度在 50 年内保持不变。鱼类成群游动。因此，我们采用网格的形式来预测鱼类分布的运动。

随着每年温度的变化，鱼会判断以自我为中心(3*3)的 9 平方水域，并选择最适合鱼的水域。在图 4 中，图中鱼类的种类偏向于环境指标为 6.75 的环境。当时间的流逝导致环境发生变化时，它所处的环境就不再是最适合的环境。它会对周围的环境做出判断，选择最适合的那个。当当前环境与自身最佳环境的差距很小(0.1)时，即使有更适合的环境，鱼也不会洄游，这就是鱼的舒适区(CZ)。

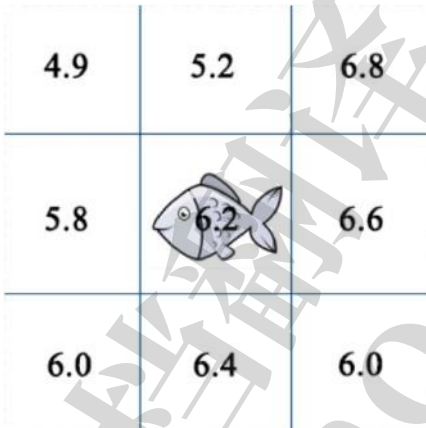


图 4

基于两种鱼最长生存环境，结合前人研究得出两种鱼的最优生存舒适区。(表 5)我们以最近 5 年鱼类最多的生活区的中心为中心，根据未来 50 年的温度变化来估算洄游路径。(图 5)

表 5		
物种	敏指数	马克斯指数
鲱鱼	4.35	5.51
鲭鱼	4.06	6.60



图 5

从图中估计可以看出，鲭鱼会逐渐向西北方向移动，向加拿大方向移动。相比之下，鲱鱼会在挪威和北冰洋的航线上慢慢向东北方向移动。在预测过程中，我们可以观察到，这两个物种将在目前的生存环境中徘徊数年，从 2040 年开始有明显的迁移趋势。

4.3.4 敏感性检验

鱼类随温度的迁移路径和环境指数的变化趋势与鱼类的舒适区有关。同时，环境指数与海表温度的变化以及 SST、SSS 和 BM 的权重有关。因此，我们分别对 I 1、I 2、I 3 和 CZ 进行了敏感性分析，并在 0.1%的波动幅度下观测了与原路径点的距离。

表 6

系数变化(+0.1% , - 0.1%)		2070 年鱼类的位置变化					
I 1	-	鲱鱼	0.314	0.293	鲭鱼	0.132	0.078
		鲱鱼	0.051	0.062	鲭鱼	0.085	0.089
I 2	-	鲱鱼	0.017	0.010	0.068	鲱鱼	0.421
		鲭鱼	0.398	0.328		0.455	
I 3							
CZ							
位置变化程度:		$\sqrt{\text{ChangeofLatitude}^2 + \text{ChangeofLongitude}^2}$					

在 0.1%的波动幅度下，2070 年模型预测的鱼类最有可能的洄游位置在 0.5° 范围内波动，位置没有显著变化。该模型通过了灵敏度测试。

4.3.5 优缺点

- 强度:在这个鱼类洄游模型中，结合了鱼类对 SST、SSS、BM 的偏好，通过年度预测可以得到未来鱼类的洄游路线。该模型具有更好的可解释性和可扩展性。
- 缺点:模型考虑的鱼的习惯仍然不够全面。由于数据不足，我们无法对更详细的鱼类偏好做出评价函数。例如鱼类的繁殖活动、摄食行为、天敌的存在等。

五、三种情况的捕鱼时间

对于海面温度上升速率差异所导致的最好情况和最坏情况，我们需要考虑温度上升的范围。基于

对之前 50 年的预测温度数据，我们发现在每一年的预测过程中，预测的温度都有一个可能的上下限。可以看到，快速增长的蓝色虚线表示海表温度变化迅速，导致浅滩快速向北移动，而绿色虚线表示在最好的情况下，海表温度增长缓慢，浅滩缓慢向北移动，甚至完全不移动。

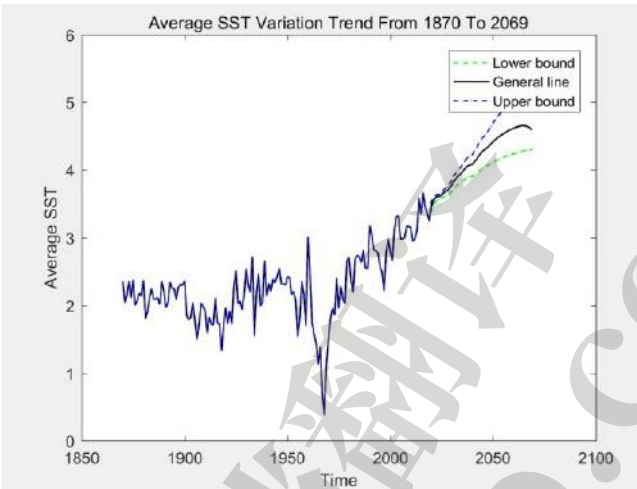


图 6

实际上，鱼群生活在一个区域，而不是一个地点。因此，我们以鱼类栖息地的最优环境为中心，较少流速以圆的形式服从正态分布。我们假设两种鱼类都在以 3 个整数经纬度点为半径的圆内迁移。

5.1 渔区

根据 Jansen T(2012)的[2]研究，在大陆架边缘 90 公里范围内，渔船可以捕获大量的鱼，而在 120 公里范围内，渔船很少。由于距离过远，渔船存在鱼类保藏、安全、航程最长等问题。因此，本文设定渔民在距离大陆 120 公里以内捕鱼。苏格兰周边的捕鱼区域如下图所示。



图 7

如上所述，我们有不同地区可以捕捞到的不同种类的鱼的数量。我们可以近似地把中心的鱼的数量看作是可以捕捞的鱼的最大数量，它周围的鱼的数量与总鱼的数量正相关，总鱼的数量也以正态分布的速率下降。只要鱼群在渔夫的捕捞范围内，总鱼数就是渔夫能捕捞的鱼数。

5.2 经过的捕鱼时间

根据上述的海温鱼类洄游模型，我们可以快速得到鱼类最有可能的洄游路线。我们认为，鱼类集群的中心正在沿着这条迁徙路线移动。鱼群的活动范围很广。渔民仍然可以捕鱼。根据鱼的数量，我们记录了小渔厂因为目前所在位置不存在鱼而无法收获的时间。我们得到时间如表 7 所示。

表 7

物种	最好的情况	最有可能的情况	坏的情况下
鲱鱼	2020 - ?	2020 - 2063	2020 - 2044
鲭鱼	2020 - ?	2020 - ?	2020 - 2068

(? , 意味着小型渔业公司仍然可以在 2070 年之前收获。)

从表中可以看出，在最好的情况下，渔民可以在活动区域内捕捉到两种鱼。在模型中最可能出现的情况下，2063 年将找不到鲱鱼。在最坏的情况下，2044 年和 2068 年，该渔区将分别看不到鲱鱼和鲭鱼。

显然，鲭鱼由于面积大、环境适应性强，在苏格兰水域的生存时间会更长。同时，青鱼可能会更早离开苏格兰水域，向北部迁徙。

5.3 敏感性试验

在渔区中，鱼的迁徙路径和渔区的范围等因素会影响捕获时间。鱼类洄游模型通过了敏感性测试。因此，在本次敏感性测试中，在 120 公里的渔区半径范围内，以 0.1% 的波动，我们观察到 2020 年至 2070 年间捕捞鱼类数量的平均变化(以最可能的情况为例)。

表 8

捕鱼半径变化	平均捕鱼量的变化	
半径+ 0.1%	鲱鱼	+
	鲭鱼	0.254%
半径的-0.1%	鲱鱼	+
	鲭鱼	0.415%
半径的-0.1%	鲱鱼	-0.199%
	鲭鱼	-0.364%

在灵敏度测试中，当捕鱼半径改变 0.1% 时，捕获鱼的变化都不显著。该模型通过了灵敏度测试。

有道文档翻译
pdf.youdao.com

5.4 优点与缺点

- 强度:在这个模型中，通过模拟鱼的生活区域的翻译，可以得到捕鱼经过的时间。该模型还考虑了鱼类在集群中的分布情况。模型符合现实。
- 缺点:模型对形状不规则鱼类的生活区考虑不足。在未来的工作中，我们可以根据周围的环境来判断鱼的生活空间的形状和分布。

VI。小型渔业公司的运营

6.1 小型渔业公司的利润

要看小渔业公司是否应该改变经营方式，我们需要了解这些公司出海后的净利润趋势。

我们得到了欧盟的船舶总数，从 2010 年到 2015 年每艘船的年捕捞成本[3]。通过文献回顾，苏格兰的船只数量约为 CFR[4]的 2.5%，假设未来船只成本不发生显著变化，未来 CoS 的每艘船年捕捞成本为 2010-2015 年的平均值:17852 欧元。那么，苏格兰渔业公司的捕捞总成本 TFC:

$$TFC = 0.025CFR \times CoS$$

鲭鱼和鲱鱼的价格分别是每千吨 1070 英镑和 337 英镑。[4]按照上述渔民可用渔获量的顺序，苏格兰渔船的年总产量 TFP 为:

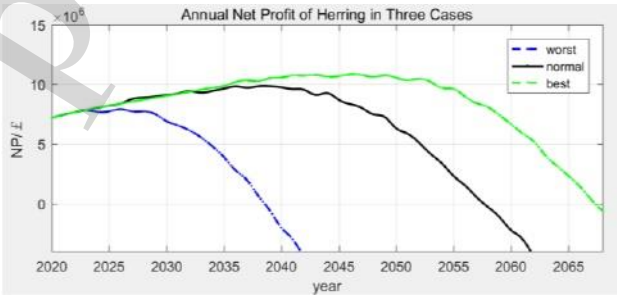
$$TFP = q_i \times P_i, i=青鱼, 马谢尔$$

因此，净利润为:

$$NP = Q_i \times P_i - 0.025CFR \times CoS, i = herring, macherel$$

这两条鱼的价值不一样，每条船对应的成本也不一样。我们根据苏格兰捕捞总价值的比例来衡量成本。

对此，我们得到了三种情况下两种鱼的渔船净利润变化趋势图(图 8)。



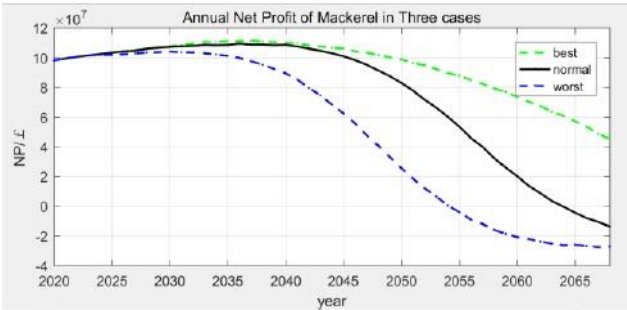


图 8

6.2 结论和建议

根据上述模型的结果，2040 年之前，由于技术的发展会提高渔船的捕捞能力，每年的盈利能力会有一定程度的提高。尽管如此，前景并不乐观。该年之后，年度盈利能力将呈现下降趋势，直至 2054 年，年度净利润最坏情况下将大幅下降至零。为了避免苏格兰小型渔业公司的经济损失，我们首先对小型渔业公司的现状进行分析。因为鲭鱼和鲱鱼的主要捕捞点在苏格兰的西部和北部海岸，所以我们重点关注这些地区的小型渔业公司。

分布在西海岸地区的渔业公司如 Protree、Mallagig、Stormoway 等港口与鱼类洄游方向相反。从上面的建模结果来看，渔业公司的经济效益往往会持续下降，为生计而挣扎。由此可见，该公司的资产转型指日可待，而其他方法只是在拖延时间。他们应该果断行动，采取全面的迁移政策，将所有可用的资金投入资产转型和重组中。基于第一个模型预测的两种鱼类的迁移路线，我们为它们选择了新的位置。无论是专注于捕捞鲱鱼还是鲭鱼的小型渔业公司都应该迁移到设得兰群岛。

相比之下，北部沿海的渔业公司，比如位于 Kinlochbervie、Orkney 和 Scrabster 港口的公司，在接下来的 30 年里仍然有足够的鱼类资源可以捕捞。同时，考虑到西海岸渔业公司短期迁移计划的迫切性，短时间停留在原来的地区，可能会让北部沿海的公司垄断该地区的鱼类资源。因此，他们不应该迅速行动，但他们也会开始逐步转移他们的资产。他们可以每五年转让 20% 的资产，然后在 25 年内完成所有的转型。在这段时间内，捕鱼区域的范围将逐步扩大，不仅包括前苏格兰港口附近的水域，还将向北延伸。这使得长途船舶的任务至关重要。我们建议，北岸附近的渔业公司，将常规渔船的 50% 折价出售，向长航时小型渔船注入更多资本。这类小艇在没有陆地支持的情况下，承担着延长鱼类新鲜度时限的能力。成本和成本

这种船的效益比普通渔船高。对于小公司来说，升级所有渔船的经济负担太大了。因此，长航时船只只需要占 50%就可以了，他们通过合作，结对作业。具体来说，普通渔船在到达指定地点后负责拖网捕鱼，而配备电子冰箱的长航时船则负责运输鱼类和燃料补给，船员则负责轮班。由此可见，长航时小艇的主要成本都花在了燃料上，而不是为了捕鱼而抛锚;普通渔船可以节省燃油成本。分工带来高效率，充分利用了小渔船所具有的保存功能。如果保存时间可以延长一倍，那么捕捞距离也会增加一倍，捕鱼量也会呈指数级增长。

2040 年后，由于全球变暖的影响，这两种鱼类完全偏离了苏格兰港口附近的水域，并一直持续向北迁移。此时此刻，原本远离苏格兰北部海岸的渔业公司，已经全部迁往设得兰群岛。对于所有这些无论是在北部海岸还是在西部海岸的渔业公司来说，选择将再次是严格而艰难的:是进一步跨越国界，还是呆在原地，使用大量的小型长途渔船。我们建议，企业应该考虑自己的资产负债表。如果他们有相对充裕的流动资金，特别是那些几十年前转移资产的渔业公司，可以开始为跨境迁移和捕捞做准备。以捕捞鲱鱼为主的小渔业公司应该转移到挪威，而捕捞鲭鱼的小渔业公司应该转移到冰岛，如果流动资金比较紧张，尤其是刚刚完成资产转化的小渔业公司，应该在新区站稳脚跟，进一步扩大原有长航时小渔船的就业比例。他们的目标是彻底取代原始渔船，推广太阳能等新能源发电技术，延长保存时间，扩大渔区范围。

综上所述，我们提出了苏格兰小渔场“两步走”的发展战略

公司:

第一步:2020-2040 年，位于苏格兰西海岸附近的渔业公司

应采取一般迁移策略，将公司的所有资产移至两种鱼类预计的国内迁移地区，即设得兰群岛附近;位于苏格兰北部海岸附近的渔业公司应该使用 50% 的长航时小船，在没有陆地供应的情况下，通过电子冰箱保持鱼的新鲜，以扩大他们的捕捞范围。同时，他们可以采取阶段性的部分迁移策略，每 5 年将 20% 的资产转移到设得兰群岛。

第二步:2040-2070 年，位于苏格兰西海岸附近的渔业公司可以根据资产负债表的情况，考虑是否为跨境迁移做准备。如果他们决定移民国外，他们会去挪威或冰岛。如果他们想在国内站稳脚跟，就应该加大对电动小长航时船的投资来

根据近海渔业法扩大捕捞范围。位于苏格兰北部海岸附近的渔业公司也完成了国内 step-1 迁移，将面临与西海岸附近公司类似的策略。

VII。在国内扎根或在国外进一步发展

当部分渔业资产转移到他国领海时，根据《跨境渔业协定》，从捕捞的鱼量到允许捕捞的船只数量都有各种限制。关税等额外成本也会增加新的经济负担。此外，未知海域的海流和风会加剧航行的风险和困难，意外损失可能会增加捕捞成本。

为了系统分析前一部分提出的小型渔业公司海外捕捞对公司发展战略的影响，我们将跨界捕捞的各种障碍抽象为阻力系数□□□□。从 2019 年公布的苏格兰海洋渔业统计数据中，我们发现，挪威作为专注捕捞鲱鱼的渔业公司的计划目的地，是苏格兰最大的跨境捕捞目的地。因此，两国之间已经存在完善的渔业法规和合作协议。相比之下，以捕捞鲑鱼为主的渔业公司的目的地冰岛，却没有与苏格兰进行跨境渔业合作的记录。经过谈判，关税和航行风险对捕捞成本的影响更为突出，因此我们为其设置了较高的阻力系数。通过对跨境捕捞费用的相关信息检索，阻力系数值指定如下：

表 9 境外捕鱼阻力系数

阻力系数	价值
------	----

在 3rd 问题，我们根据未来 50 年苏格兰海岸线 120 公里¹²内的鱼的预测数量，计算了苏格兰小型渔业公司的净利润。然后我们绘制了它随时间的发展趋势。“两步”发展战略的第一步是国内，将资产转移到设得兰岛。第二步是根据资产负债表，选择是留在国内进一步发展，还是搬到国外，搬到冰岛或挪威。因此，渔业公司在做出第二步决策时，应该考虑到跨境捕捞的额外成本。同样，利用上述提出的净利润模型，我们也预测了公司迁移到南设得兰群岛后，靠近另一条海岸线的年可及鱼量。并且，我们将捕捞成本分别乘以两个阻力系数，计算出每年的净利润，并绘制出净利润发展趋势图

按时间顺序。同样，我们画出转移到挪威和冰岛后的时间序列图。分别考虑到两种鱼类的情况:在鲱鱼方面，比较挪威和南设得兰群岛的渔业净利润;在

鲭鱼的条款，比较冰岛和南设得兰群岛的净利润，分析发展跨境捕鱼和留在国内的经济前景，从而为企业选择更有利可图的策略。曲线图如下：

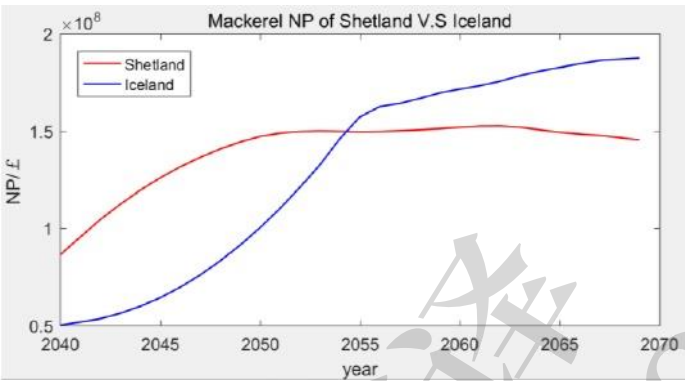


图 9 南设得兰群岛鲭鱼捕捞净利润 vs .冰岛

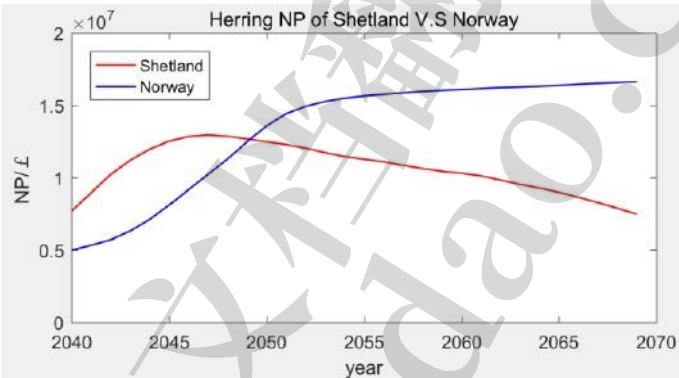


图 10 南设得兰群岛鲱鱼捕捞净利润 vs .挪威

以鲭鱼为目标，在 2040 年，停留在南设得兰群岛的捕捞净利润约为 8000 万英镑，短期内将继续上升，达到峰值约 13 亿英镑。而在那一年之后，近海渔业资源总量将逐渐减少，这将催生竞争加剧和市场饱和，净利润有下降的趋势。如果在发展战略的第二步中，企业决定将资产转移到海外进行跨境捕捞，虽然初始净利润只有 5 亿，但增长趋势将继续攀升至 14 亿以上。

瞄准青鱼，情况也差不多。国内捕鱼最初的净利润为 800 万英镑，最高达到约 1300 万英镑，而海外捕鱼则可以继续攀升至 1500 万英镑。

鲭鱼的单价明显高于鲱鱼，因此两者的总利润存在比较巨大的差异。从国外捕捞利润增长的斜率来看，由于冰岛的跨境捕捞阻力系数大于挪威，其成本较高，因此鲭鱼的国外利润曲线斜率低于鲱鱼，这与上文的假设一致。

图表说明，虽然在 2040 年，以捕捞这两种鱼类为主的渔业公司，一开始通过在国外发展而获得的净收入低于国内，但前者的净利润增长斜率确实大于后者，这生动地展示了由于全球气温急剧变化和鱼北-

迁徙趋势不可逆转，北苏格兰海几乎捕捉不到一吨鲱鱼或鲭鱼。小型渔业公司跨境捕捞的发展是关系到其经济效益的必然结果。尽管政治和海洋障碍无限，但与渔业资源流失的严重问题相比，只有走出国门，渔业才有进一步发展的潜力。

为了证明该模型结论的鲁棒性，我们对阻力系数进行了敏感性分析，分析结果如下：

表 9 关于阻力系数波动的净利润变化情况

阻力系数变化		净利润变化率
0.1%	+	0.296%
0.1%	-	0.298%
0.1%	+	0.087%
0.1%	-	0.113%

正负 0.1%的系数变化对小型渔业公司净利润年均波动率的影响均小于 0.3%，在可接受范围内，说明本文建立的模型是可靠且稳健的。

VIII。文章为勾线下沉

近年来，随着机械化作业的普及和捕鱼技术的发展，苏格兰渔业一直蓬勃发展。根据 2019 年公布的苏格兰海洋渔业统计数据，鱼的收获量和利润水平逐年提升。但在繁荣的表象下，渔业发展前景却笼罩在迷雾之中。严重的情况你可能还不清楚：按照正常趋势，预计到 2063 年，苏格兰沿海将没有鲱鱼。如果有什么不同的话，最坏的情况是，这个可怕的年份将提前到 2044 年!同样，到 2068 年，苏格兰海岸附近丰富的鲭鱼物种将灭绝。

看了这篇文章，不管你的心情是害怕、嗤之以鼻还是不屑一顾，我们都很遗憾地告诉你，苏格兰港口的渔业正面临着一场前所未有的危机。

这两种鱼是苏格兰水产品的特色，也是苏格兰渔业的主要目标。它们也是人们饮食的重要组成部分，甚至对进出口贸易也有贡献。然而，上述灭绝年份是有事实依据的。英国气象局哈德利中心公布了从 1870 年至今的全球海表温度数据。如果对苏格兰周边海域的数据进行历时性的探索，你会发现苏格兰的海表温度正在经历不可逆的变暖进程，并且这个趋势是全球性的。而且，众所周知，鱼类对生长、产卵等生物活动都有特定的温度要求，因此水温上升肯定会迫使鱼类向北迁徙，这只是时间问题。你

我们可以指望在未来的某一年气温会直线下降。不幸的是，事与愿违。研究团队的数学模型显示，考虑到温室气体水平和森林覆盖率等环境因素，以及人口增长和工业发展等人为因素，即使在最好的情况下，到 2050 年海水温度也可能上升 2℃。该研究进一步估算了未来 50 年这两种鱼类在苏格兰港口附近的位置，然后计算了如果不采取措施，苏格兰小型渔业公司每年净利润的趋势。结果表明，到 2040 年，渔业繁荣将被打破，净利润开始下降;在这些物种消失之前，渔民将在 2056 年入不敷出。

但别担心!针对不同的情况采取适当的策略。在接下来的章节中，我们将教你如何盈利。

如上所述，你可能会好奇，鱼去哪了?大海是不可预测的，有雄伟的天气，也有无限的洋流和海风，有捕食者和猎物，所以无数的因素影响鱼类的迁徙轨迹。经过综合考虑，严谨的研究者明确地指出了方向。以上面提到的两种代表性鱼类为例:鲭鱼将向西北方向穿过法罗群岛，直接前往冰岛水域;鲱鱼则会向东北方向移动，在南设得兰群岛附近徘徊，然后向挪威漂移。不要急着追赶，因为渔业公司与古代草原游牧民族没有相似之处，没有世界主义者的能力，为了获得经济利益，维持公司健康运营，需要制定“两步走”的发展战略如下:

- 步骤一，国内转型:2020-2040 年，位于苏格兰西海岸附近的渔业公司应采取一般性迁移策略，将公司所有资产转移到两种鱼类预测的国内迁移区域附近，即南设得兰群岛;位于苏格兰北部海岸附近的渔业公司应使用 50%长航时小船，在不需要陆地供应的情况下，通过电子冰箱保持鱼类新鲜，以扩大捕捞范围。这些渔船将成对地与传统渔船合作。传统渔船负责捕鱼，而长航时船则负责运输鱼、燃料和人员。同时，他们可以采取阶段性的部分迁移策略，每五年将 20%的资产转移到南设得兰群岛。

不同地点的渔业公司之间的差异形成了其经济考虑的基础。如果立即转移全部资产，小型渔业公司将面临流动资金不足的问题。因此，如果情况不够紧急，分阶段迁移的策略会更切合实际。尽管如此，对长航时艇等最先进设备的投资对于盈利是势在必行的。不要成为技术抵抗者。此外，如果不可撤销的条件极其严重，公司应该采取果断行动。短期成本带来长期收益。此外，分工带来了高效率和更经济的成本。

- 第二步，海外转型:2040-2070 年，所有的渔业公司都会

已经完成了向南设得兰群岛的资产转型，应该根据自己的资产负债表情况考虑是否准备跨境迁移。

研究人员还对留在国内与迁移到国外的净利润发展曲线进行了预测，结果表明，尽管跨境捕鱼协议的限制、关税以及未知海域的不确定性风险会增加捕捞成本，但鉴于鱼类迁移的必然趋势，从长远来看，在海外捕鱼的企业将比在国内扎根的企业盈利更高。渔业公司可以追逐鲑鱼迁移到冰岛，也可以追随鲱鱼迁移到挪威。

同样，要加大电力长航时小型渔船的投资，扩大捕捞范围，记得充分利用分工带来的经济效益。

是时候在“两步走”发展战略的指导下，设计你的定制化改造方案了！

六。参考文献

Lenoir S, Beaugrand G, éRIC LECUYER。海洋鱼类的空间分布模式及其预测变化[J]。海洋生态学报，2011,30(1):1 -7。

[2] Jansen T, Campbell A, Kelly C, Hátún H, Payne MR.东北大西洋鲭鱼(*Scomber scombrus*)秋冬迁徙与渔业。 *PLoS One*. 2012;7(12):e51541。doi: 10.1371 / journal.pone.0051541

[3]船队运力报告 2018 url:
https://ec.europa.eu/fisheries/cfp/fishing_rules/fishing_fleet_en

[4]苏格兰海洋渔业统计 2018,2019,ISBN: 9781839601712

[5]国际海洋探索理事会网址:http:// www.ices.dk

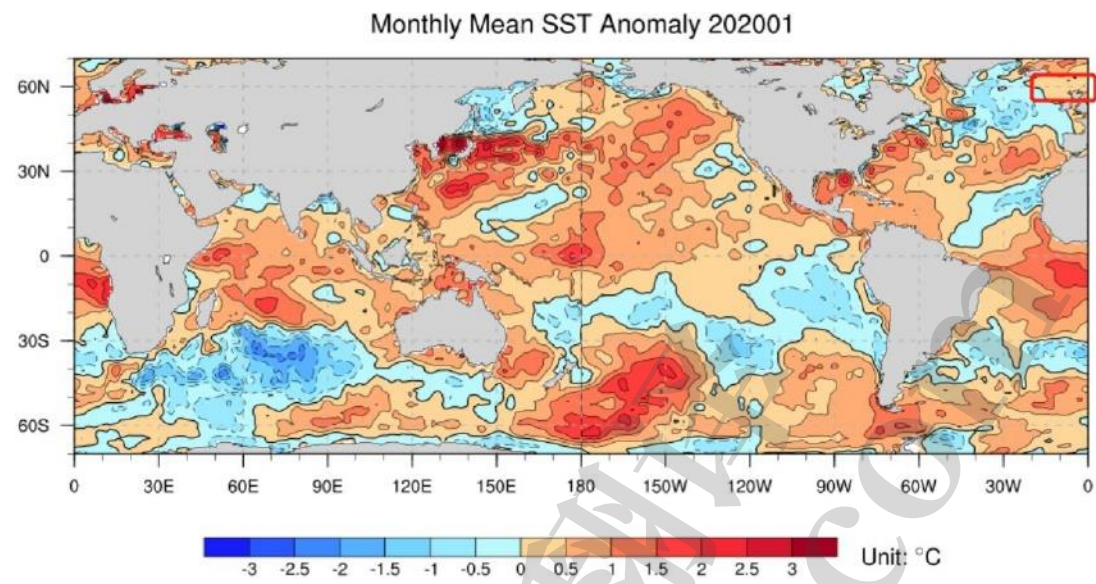
[6]世界银行开放数据

[7] Jansen T, Gislason H。温度对北海鲭鱼产卵和迁移时机的影响[J]。大陆架研究，2011,31(1):64-72。

北大西洋广泛分布的海洋鱼类[8]比较生态学:气候和渔业影响的模拟[J]。海洋科学进展，2014,31(12):329 - 331。

[9] Loeng, Harald。(1989)。巴伦支海温度对某些鱼类种群参数的影响。西北大西洋渔业科学杂志，9。10.2960 / J.v9.a9。

7 附录



图全球温度分布图



图苏格兰的地区和港口

有道文档翻译
pdf.youdao.com

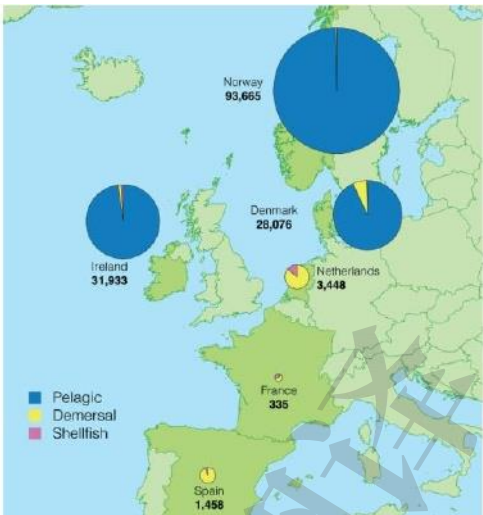


图 2018 年苏格兰船舶按登陆国家和种类划分的海外登陆吨位

表部分海表

一年	0	1	2	3.	4	5	...
1870/1/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1870/2/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1870/3/1	-10 年	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1870/4/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1870/5/1	-10 年	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1870/6/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1870/7/1	-1.8	-1.8	-1.46	-1.46	-1.36	-1.04	
1870/8/1	-1.41	-1.05	-0.36	-0.46	-0.55	-0.11	
1870/9/1	-1.26	-1.01	-0.46	-0.29	-0.42	-0.09	
1870/10/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1870/11/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1870/12/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-10 年	-1.8	
1871/1/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1871/2/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1871/3/1	-10 年	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1871/4/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1871/5/1	-10 年	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
1871/6/1	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	

表部分海温预测图

一年	0	1	2	3.	4	...
2020	2023	2026	-0.31789	-0.30289	-0.33033	
2021	2024		-0.30403	-0.31461		
2022	2025		-0.30847	-0.33912		

-	-1.10203	-1.13846	-
1.24209	-1.07269	-1.12918	1
-			.
1.20688	-1.04669	-1.11771	1
-	-0.98745	-1.08263	9
1.13215	-0.96547	-1.14422	0
-	-0.93678	-1.1501	7
1.01968	-0.98194	-1.16565	4
-			-
0.97897			1
-			.
0.88039			1
-0.8433			8
			6
			6
			8
			-
			1
			.
			1
			7
			5
			7
			3
			-
			1
			.
			1
			4
			5
			4
			3
			-
			1
			.
			2
			0
			5
			6
			6
			-
			1
			.
			2
			1
			0
			6
			1
			-
			1
			.
			2
			0
			5
			0
			5

2027	-0.32822	-0.86005	-0.96456	-1.17028	-1.20748
2028	-0.30843	-0.81588	-0.97378	-1.16083	-1.19392
2029	-0.2718	-0.80909	-0.92111	-1.14455	-1.17202
2030	-0.2216	-0.77873	-0.87029	-1.12799	-1.15009
2031	-0.18528	-0.70448	-0.83006	-1.10407	-1.12825
2032	-0.16579	-0.62795	-0.79062	-1.08436	-1.10989
2033	-0.16072	-0.6402	-0.78581	-1.07882	-1.08074
2034	-0.16562	-0.64915	-0.77156	-1.07844	-1.06117
2035	-0.14731	-0.7032	-0.78682	-1.06749	-1.09443
2036	-0.14689	-0.67999	-0.78064	-1.05568	-1.0732
2037	-0.17047	-0.65126	-0.76921	-1.05544	-1.07085
2038	-0.19841	-0.62074	-0.77439	-1.08763	-1.09513
2039	-0.19669	-0.62763	-0.81019	-1.08815	-1.13848
2040	-0.18683	-0.58493	-0.78547	-1.08408	-1.12948
2041	-0.16624	-0.53685	-0.76542	-1.08415	-1.13213
2042	-0.17243	-0.5545	-0.75782	-1.09101	-1.13269
2043	-0.12829	-0.49549	-0.70586	-1.07626	-1.11499
2044	-0.10798	-0.45033	-0.66667	-1.047	-1.0861
2045	-0.11452	-0.45026	-0.66708	-1.04681	-1.06835
2046	-0.12185	-0.43144	-0.66242	-1.05351	-1.07419
2047	-0.11418	-0.42239	-0.65346	-1.0491	-1.06917
2048	-0.10595	-0.41645	-0.64465	-1.04401	-1.06411

表 CFR 预测图

一年	病死率	一年	病死率	一年	病死率	一年	病死率
1998	102564	2016	71063	2034	51187.68	2052	38313.77
1999	101196	2017	70074	2035	50306.4	2053	37752.71
2000	101355	2018	69081	2036	49401.71	2054	37207.18
2001	98595	2019	68416	2037	48521.54	2055	36671.61
2002	96242	2020	65608.12	2038	47689.01	2056	36145.22
2003	93113	2021	63950.83	2039	46910.59	2057	35629.35
2004	91000	2022	62752.67	2040	46193.66	2058	35120.12
2005	89218	2023	61677.59	2041	45573.28	2059	34615.33
2006	87020	2024	60672.42	2042	44897.49	2060	34114.94
2007	84667	2025	59655.88	2043	44189.89	2061	33620.51
2008	82328	2026	58665.91	2044	43479.05	2062	33135.33
2009	80554	2027	57731.46	2045	42776.65	2063	32667.13
2010	78584	2028	56825.41	2046	42088.76	2064	32214.32

2011	76676	2029	55918.66	2047	41414.85	2065	31773.86
2012	76010	2030	54989.32	2048	40755.41	2066	31343.73
2013	75040	2031	54059.25	2049	40113.82	2067	30922.67
2014	72996	2032	53108.94	2050	39492.9	2068	30509.94
2015	71979	2033	52124.2	2051	38893.43	2069	30104.79