

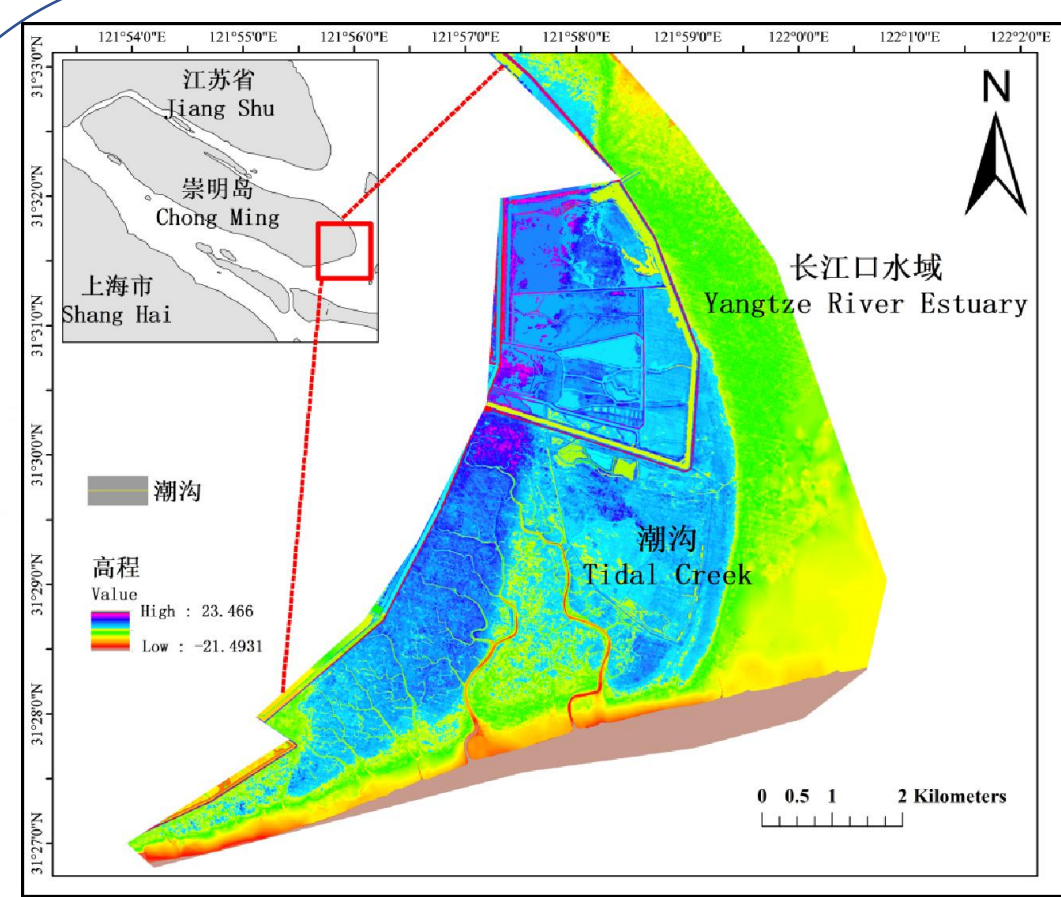
费姝洁^{1,2}, 张婷婷¹, 赵峰^{1,2}

1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海市 杨浦区 200093
2. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

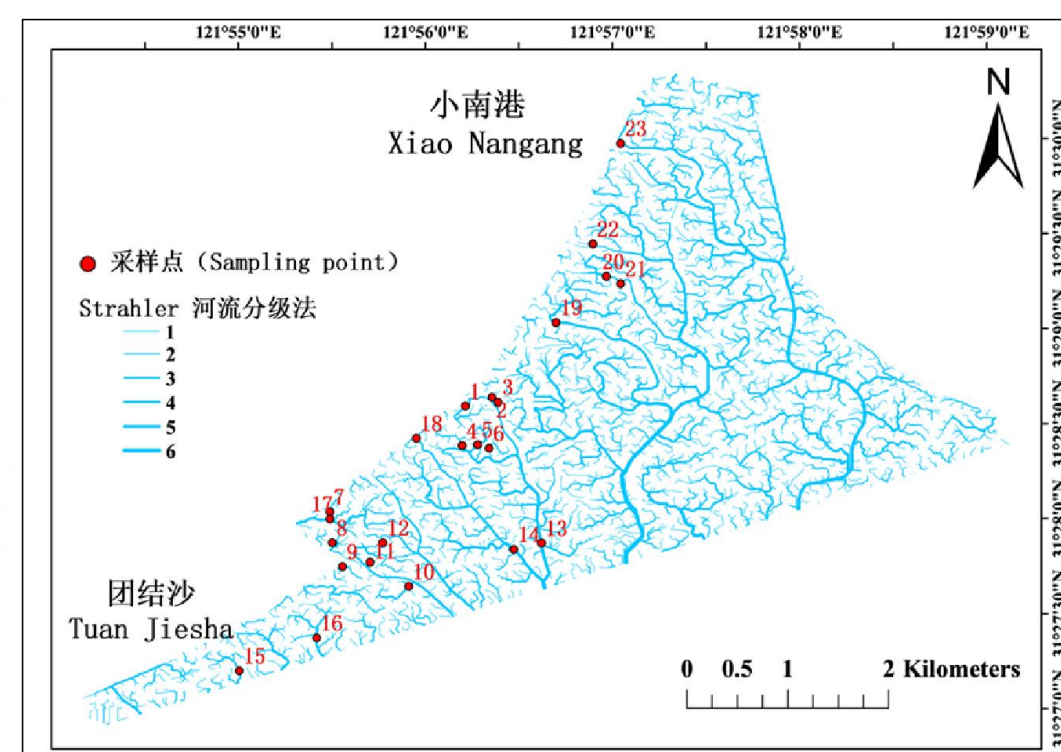
背景: 潮沟是由潮汐冲刷而形成的典型湿地地貌, 主要以水文连通的形式改变潮沟与其邻近水域之间物质、能量、信息交换的速率。水文连通作为潮沟湿地生态过程的主要驱动因素之一, 受到潮汐作用、上游淡水、降雨、地形地貌地质特征、人为或自然干扰的影响, 在时空尺度上表现出动态变化过程。水文连通性通过改变潮沟内的水文特征, 直接影响鱼类的迁徙、觅食和繁殖行为, 进而改变了鱼类群落之间的连通性和多样性。然而, 近年来, 湿地潮沟区域人为活动日益加剧, 包括堤坝建设、围垦和生物入侵等, 导致潮沟网状结构的复杂度降低, 水文连通性严重受到阻碍或丧失。深入理解水文连通性的动态变化及其对河口鱼类群落的作用机制, 对于河口湿地生态系统的保护和科学管理至关重要。

目的: 了解潮沟湿地水文连通性动态变化特征, 以及鱼类群落在时空尺度上的分布格局及主要影响因子, 以了解水文连通性对鱼类物种多样性和湿地生态系统修复过程中的重要性。

材料方法



图一: 研究地点



图二: 采样地点

- 本研究在不同高低的地势下, 如低程、中程、高程, 各设置五个采样点, 共计15个采样点。分别在2024年7月的大潮、小潮期间, 进行连续3天的重复采样。
- 渔获物现场采集后, 冷冻保存, 待返回实验室对样品进行鉴定及分类, 并称量、计数和生物学测定。
- 选取潮沟横截宽度、DEM、潮沟等级、大小潮、水文连接时间、淹水滞留时长、节点数、河链数、节点连接率 β 共九个指标, 通过冗余分析以探究环境因子与物种群落结构之间的相关性, 分析在不同水文连通性下对鱼类群落的分布特征。

结果一

物种	数量百分比 ^a	质量百分比 ^b	出现频率百分比 ^c	相对重要性指数 ^d
Species ^a	N% ^a	W% ^b	F% ^c	IRI ^d
中国花鲈 <i>L. maculatus</i> ^a	14.99 ^a	32.35 ^a	100 ^a	4733.95 ^a
鲻 <i>L. haematocheila</i> ^a	19.52 ^a	18.58 ^a	100 ^a	3809.90 ^a
斑尾刺虾虎鱼 <i>A. ommaturus</i> ^a	12.69 ^a	11.54 ^a	91.30 ^a	2212.08 ^a
鲢 <i>L. carinata</i> ^a	6.97 ^a	6.98 ^a	86.96 ^a	1213.00 ^a
长吻鲈 <i>L. longirostris</i> ^a	0.79 ^a	15.15 ^a	73.91 ^a	1177.74 ^a
大鳞鲷 <i>X. maculatus</i> ^a	7.60 ^a	3.93 ^a	43.48 ^a	501.36 ^a

表一: 潮沟鱼类优势种的相对重要性指数

方程 ^a	自由度 ^b	平方和 ^c	均方 ^d	F值 ^e	P值 ^f
Function ^a	Source ^b	SS ^c	MS ^d	Pseudo-F ^e	P(MC) ^f
数量百分比 ^a	总点 ^b	22 ^c	1.1031E+05 ^d	5013.9 ^e	2.2472 ^f
	残差 ^b	4 ^c	9794.9 ^d	2448.7 ^e	1.0975 ^f
(位点-潮沟-位点-潮沟) ^a	位点 ^b	56 ^c	8394 ^d	1492.8 ^e	0.6690 ^f
	残差 ^b	33 ^c	73629 ^d	2231.2 ^e	0.001 ^f
质量百分比 ^a	总点 ^b	115 ^c	2.8351E+05 ^d	5013.9 ^e	2.2472 ^f
	残差 ^b	22 ^c	1.040E+05 ^d	4754.8 ^e	1.6751 ^f
(位点-潮沟-位点-潮沟) ^a	位点 ^b	4 ^c	20102 ^d	5025.5 ^e	1.7705 ^f
	残差 ^b	56 ^c	1.0847E+05 ^d	1917 ^e	0.6219 ^f
出现频率百分比 ^a	总点 ^b	33 ^c	93670 ^d	2838.5 ^e	0.999 ^f
	残差 ^b	115 ^c	3.3061E+05 ^d	0.001 ^f	0.001 ^f

表二: 不同潮汐和位点间的鱼类数量百分比、质量百分比组成的PERMANOVA分析

鱼类群落及其分布变化

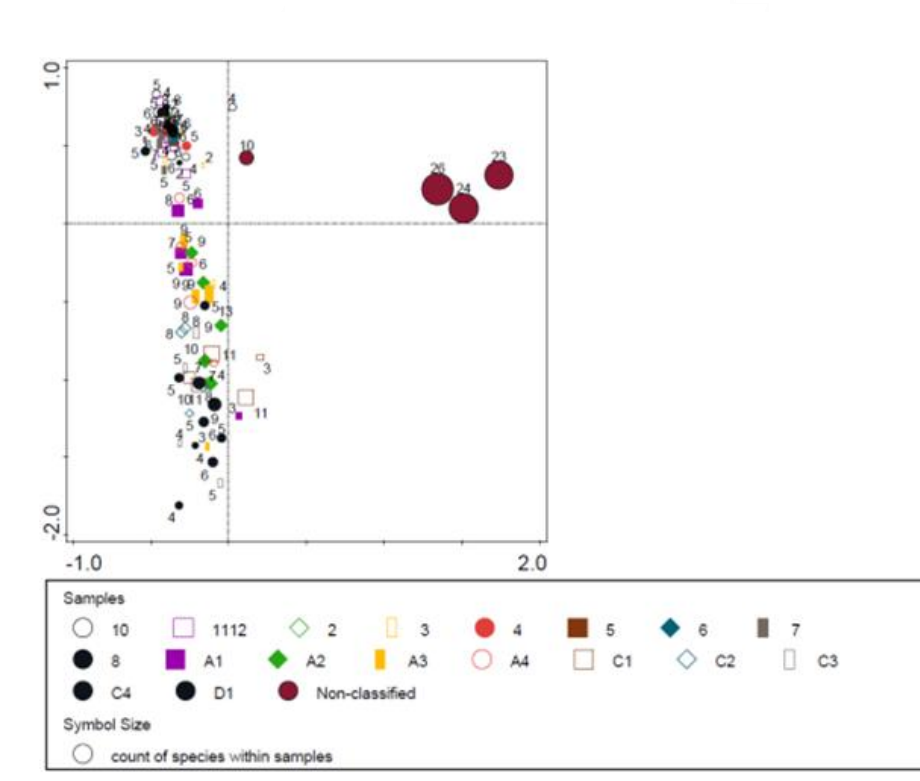
讨论

- 在本次调查中, 我们共采集到47种不同的鱼类, 隶属10个目、16个科。
- 鱼类物种数(S)的范围是1到26种, 香农多样性指数(H')为0到2.13, 均匀度指数(J')的范围是0到1。通过非参数检验, 我们发现鱼类群落的空间差异性显著(P<0.05), 而时间差异性不显著。
- 通过相对重要性指数(IRI)表明, 我们确定了本研究中的主要优势种, 包括中国花鲈(*Lateolabrax maculatus*)、鲻(*Liza haematocheila*)、斑尾刺虾虎鱼(*Acanthogobius ommaturus*)、梭鲈(*Liza carinata*)、长吻鲈(*Leiocassis longirostris*)、大鳞鲷(*Xenocypris macrolepis*)

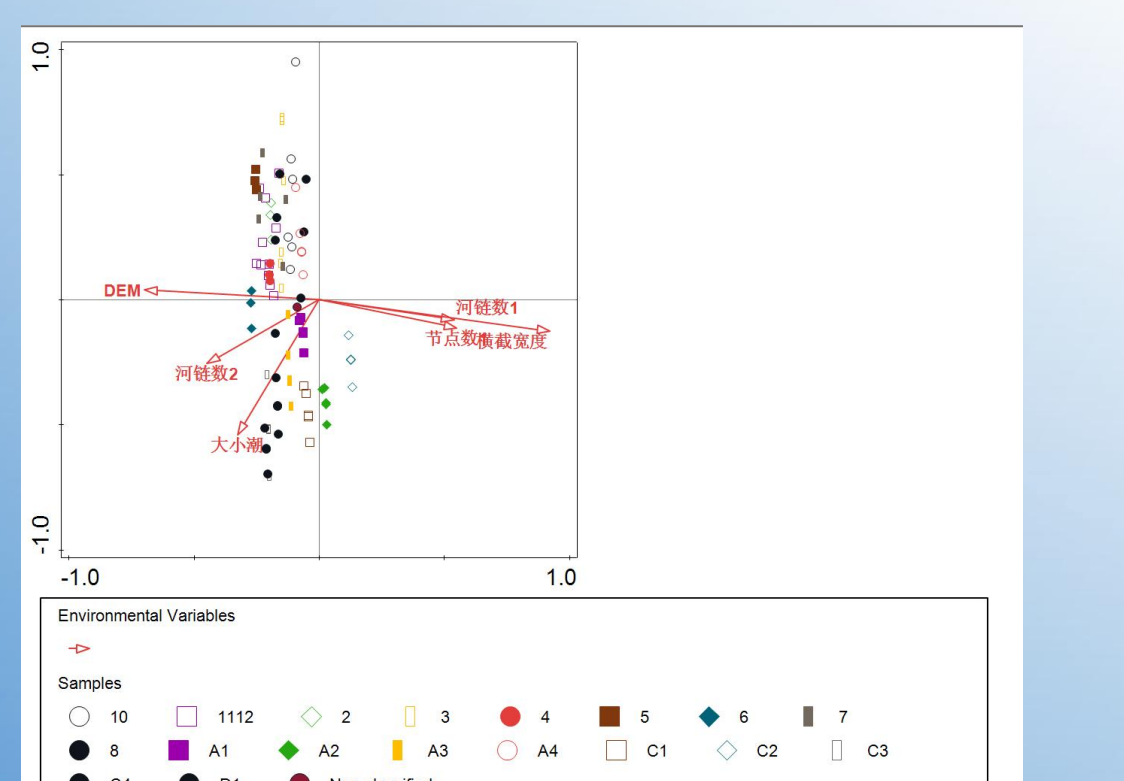
结果二

指标 ^a	Explains ^b	Contribution ^c	Pseudo-F ^d	P ^e
横截面积 ^a	12.2 ^b	33.9 ^b	12.7 ^b	0.002 ^c
大小潮 ^a	4.3 ^b	11.8 ^b	4.6 ^b	0.002 ^c
节点数 ^a	2.8 ^b	7.8 ^b	3.1 ^b	0.002 ^c
节点连接率 β ^a	2.9 ^b	8.1 ^b	3.3 ^b	0.002 ^c
节点数 ^a	1.6 ^b	4.4 ^b	1.8 ^b	0.006 ^c
节点连接率 β ^a	2.7 ^b	7.5 ^b	3.1 ^b	0.002 ^c
节点数 ^a	2.0 ^b	5.6 ^b	2.4 ^b	0.002 ^c
节点数 ^a	1.5 ^b	4.2 ^b	1.8 ^b	0.012 ^c
DEM ^a	1.7 ^b	4.6 ^b	2.0 ^b	0.004 ^c
淹水时长 ^a	2.2 ^b	6.0 ^b	2.7 ^b	0.002 ^c
淹水滞留时长 ^a	1.3 ^b	3.6 ^b	1.6 ^b	0.036 ^c

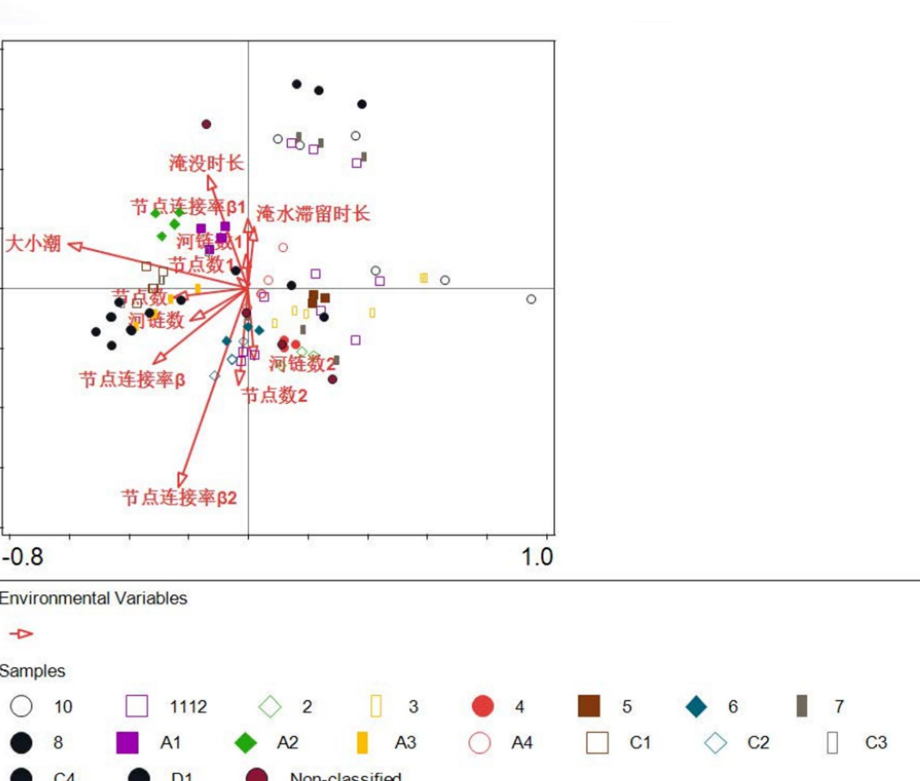
表三: 环境因子RDA排序结果



图三: 采样点RDA分析结果



图四: 采样点与环境因子RDA分析



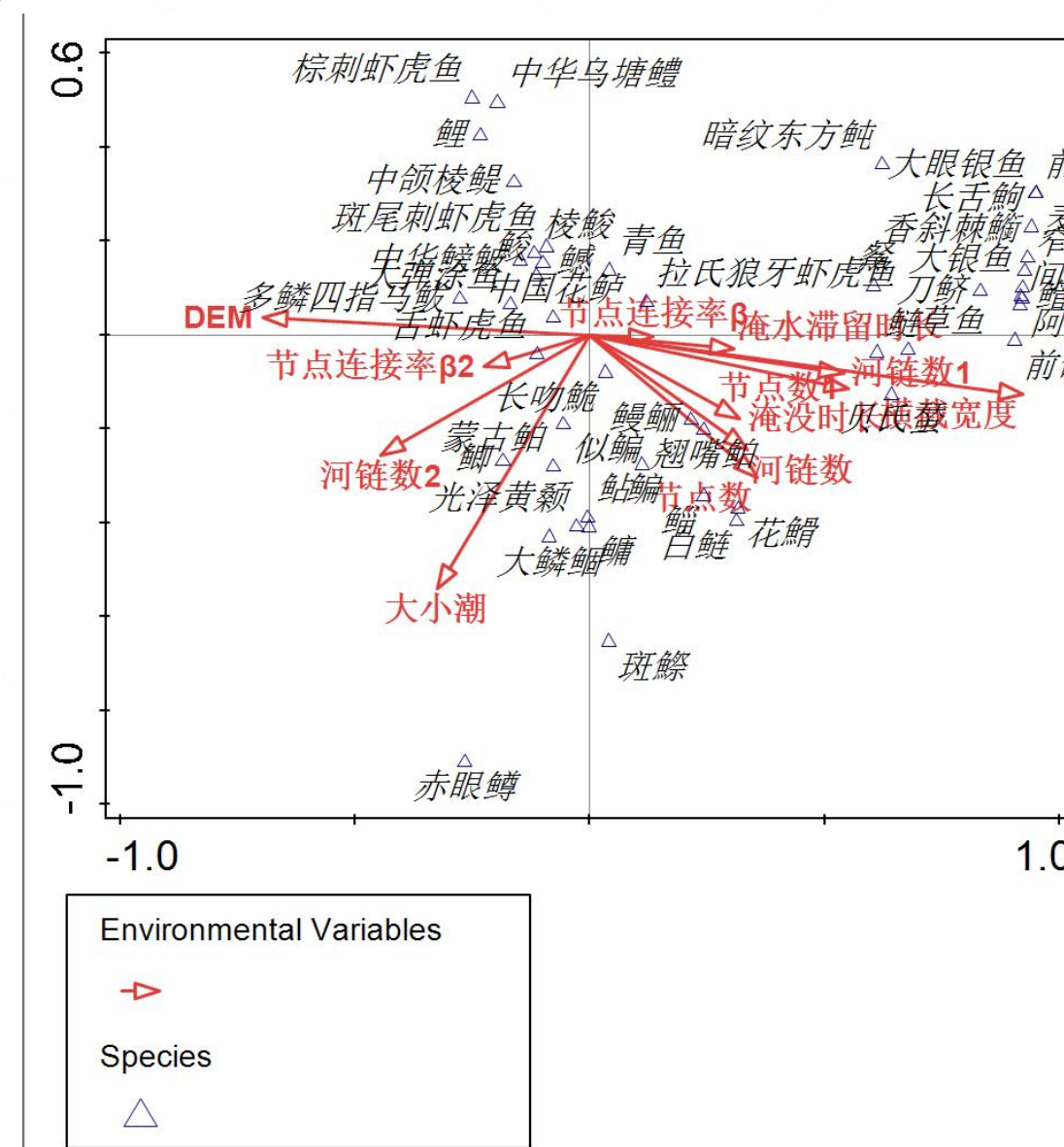
图五: 采样点-水文因子RDA分析

环境因子与站点的相关性分析

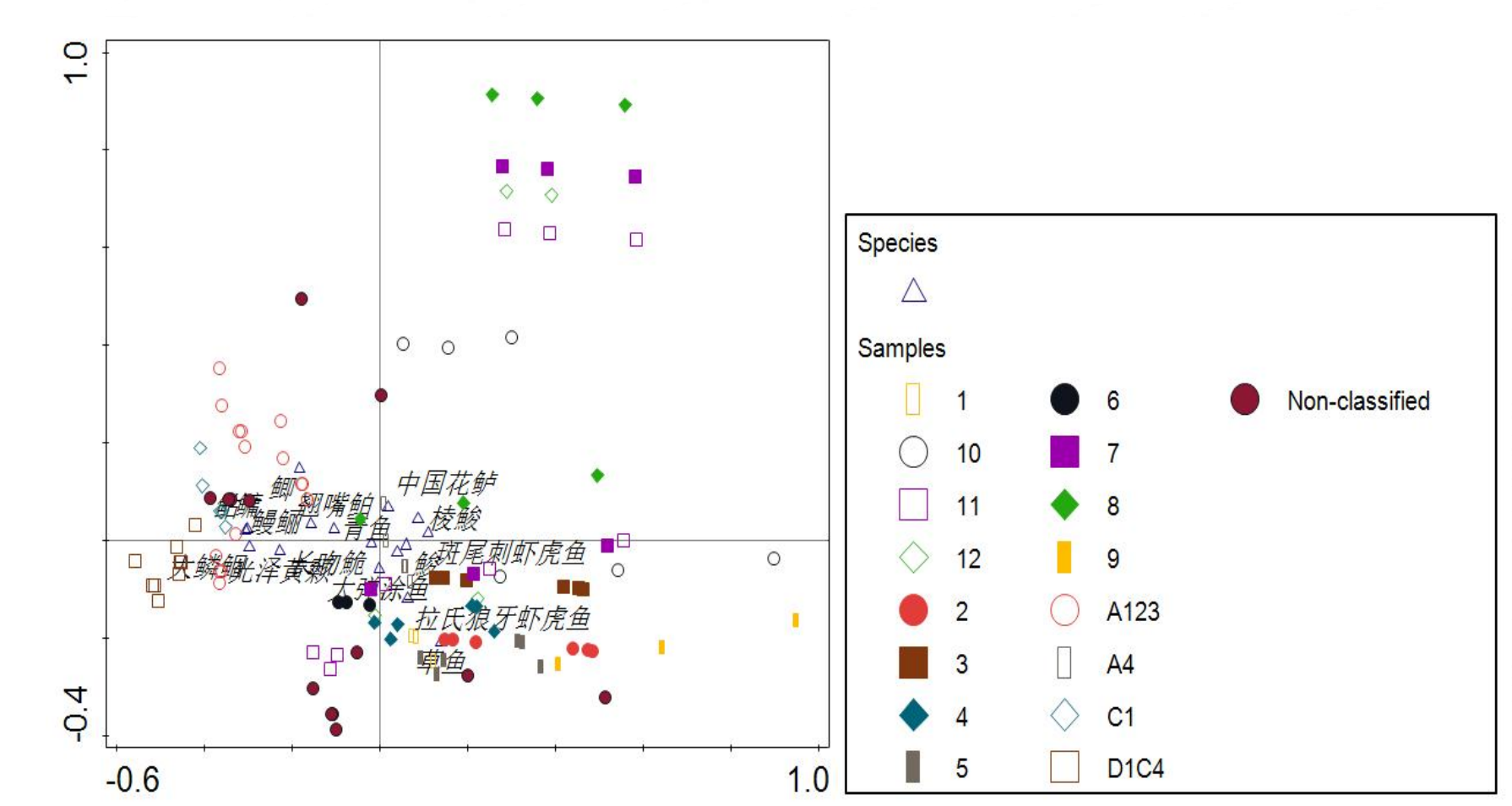
讨论

- 通过RDA对环境因子与站点的相关性分析, 结果表明: 横截面积是最重要的预测变量, 其次是大小潮。通过RDA分析, 站点可以被明显的分为两组(详见图三)。右边一组的站点主要受横截面积的影响。左边一组的站点则主要受到大小潮的影响, 这些区域受到潮汐的强烈影响。
- 进一步探讨主要受潮汐作用影响的站点之间的差异, 我们以横截面积做协变量进行细化分析并对其进行再分组。分析结果表明, 环境变量可以被分为以下三组(详见图五):
 - A组: 节点数、河链数、节点连接率 β , 这三个水文连通性指标表示在大潮期间与潮沟水文连通性具有高度相关性。站点A3、C1、C2、C3、C4、D1与A组环境变量的距离最近, 因此它们可能在大潮期间表现出较高的水文连通性。
 - B组: 淹水滞留时长、淹水时长、大小潮、节点数1、河链数1、节点连接率 β 1, 这六个水文连通性指标表示在小潮期间与水文连通性具有高度相关性, 且变量值越高, 表示小潮期间连通性越高。站点A1、A2、C1(部分)、7、8、10、11、12, FD与B组环境变量的距离最近, 表明这些样点在小潮期间可能具有较高的水文连通性。
 - C组: 节点数2、河链数2、节点连接率 β 2, 这三个水文连通性指标表示大小潮期间连通度的差异性变化, 变量值越高, 差异变化越明显。站点4、6、11、C2与C组水文连通性指标的距离最近, 意味着它们与大小潮期间的连通度差异性变化最具有相关性。这些样点可能在大潮期间连通度高, 而在小潮期间连通度显著低, 受大小潮差异性影响最大。
 - D组: 与潮汐连通性相关性不强, 如A4、1、2、3、5、7(未截留)、9、10、11、ZY。这些站点与大小潮连通度相关性极低, 说明它们受潮汐作用的影响较小, 这些站点可能位于大小潮均未淹没区域或者大小潮频繁淹没区域。
- 综上所述, 大小潮主要与A组和B组变量更为相关。A组变量反映了大潮期间的连通度, 而B组变量反映了小潮期间的连通度。这些发现有助于我们理解潮汐作用如何影响鱼类生境的水文环境因子, 以及这些因子如何进一步影响鱼类的分布和栖息地选择。

结果三



图六: 鱼类群落分布与环境因子的RDA分析结果



图七: 鱼类群落分布与站点的RDA分析结果

潮汐作用下不同水文连通性对鱼类群落分布的影响

讨论

- 在不同水文连通度下, 鱼类物种分布表现出显著的差异性。横截面积是导致潮沟湿地在空间结构上鱼类群落分布存在显著差异的主要因子。
- 在大小潮汐作用下水文因子对鱼类群落分布的影响, 分析结果表明(详见图六): 不同水文连通性下, 优势种分布差异性明显。
 - 大鳞鲷 (*Xenocypris macrolepis*)、光泽黄颡 (*Pelteobagrus nitidus*)、鲇 (*Silurus asotus*)、鳊 (*Aristichthys nobilis*) 等物种主要聚集在大潮期间水文连通性较高的区域。
 - 中国花鲈 (*Lateolabrax maculatus*)、斑尾刺虾虎鱼 (*Acanthogobius ommaturus*)、梭鲈 (*Liza carinata*)、翘嘴鲈 (*Culter alburnus Basilewsky*)、鲫 (*Carassius auratus*)、日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 等物种主要聚集在小潮期间水文连通性较高的区域。
 - 大弹涂鱼 (*Boleophthalmus pectinirostris*)、长吻鲈 (*Leiocassis longirostris*) 主要出现在小潮期间低水文连通区域。
 - 鲻 (*Liza haematocheila*)、拉氏狼牙虾虎鱼 (*Odontamblyopus lacepedii*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 主要聚集在大小潮期间水文连通性差异较小的区域。
- 通过分析可知, 不同鱼类群落对水文连通性有着不同的反映, 特别是在小潮期间, 高水文连通性的区域对鱼类群落具有显著的重要性。

结论

- (1) 在本次调查中, 我们共采集到47种不同的鱼类, 隶属10个目、16个科。潮沟中鱼类群落的空间差异性显著(P<0.05), 而短时间内物种差异性不显著。
- (2) 在潮沟区域, 横截面积和大小潮是影响鱼类群落分布明显具有差异性的最重要的环境因子。
- (3) 不同鱼类群落对水文连通性有着不同的反映, 特别是在小潮期间, 高水文连通性的区域对鱼类群落具有显著的重要性。

致谢

我衷心感谢张婷婷老师和赵峰老师的悉心指导和宝贵建议。同时, 我也要感谢中国水产科学研究院东海水产研究所和上海海洋大学提供的实验设备和资源。最后, 感谢中国水产学会给予的展示机会。