

文章编号: 1004 - 2490(2021)04 - 0395 - 09

# 陆源有机碳对黄河口及周边近海 4种常见鱼类的营养贡献

王 斐<sup>1</sup>, 张明亮<sup>1</sup>, 李 凡<sup>1</sup>, 李少文<sup>1</sup>,  
徐炳庆<sup>1</sup>, 李 斌<sup>1</sup>, 韩慧宗<sup>1</sup>, 齐占会<sup>2</sup>

(1. 山东省海洋资源与环境研究院, 山东烟台 264006; 2. 中国水产科学研究院  
南海水产研究所, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广州 510300)

**摘要:** 为了解黄河输送陆源有机碳对河口以及近海生态系统物质和能量的补充作用, 通过多元相似性分析研究了斑尾刺虾虎鱼(*Acanthogobius ommaturus*)、短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)、矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)、青鳞小沙丁鱼(*Sardinella zunasi*)等4种常见鱼类碳氮稳定同位素在时间、空间尺度上的差异, 并应用稳定同位素分析R语言包(SIAR)计算了陆源有机碳对4种鱼类的营养贡献。结果表明, 尽管在时间( $R=0.08, P<0.01$ )、空间( $R=0.19, P<0.01$ )尺度上, 4种鱼类碳氮稳定同位素均差异不大, 但陆源有机碳对其营养贡献空间和时间变化明显。陆源有机碳对4种鱼类的营养贡献在夏季较秋季高4.3%~32.0%, 黄河口区域较近海高12.4%~19.8%。

**关键词:** 陆源有机碳; 营养贡献; 稳定同位素; MANOSIM; SIAR

**中图分类号:** P 76      **文献标志码:** A

河口、近海是陆地生态系统与海洋生态系统的交汇区域。据估算, 每年约有0.40 Gt陆源有机碳经河口输送进入近海, 其输送量足以满足海洋当年碳循环的需求<sup>[1]</sup>。但稳定同位素及生物标记物示踪显示, 陆源有机碳仅占海洋有机碳库很少一部分, 绝大部分不知所踪<sup>[2]</sup>。陆源有机碳的归宿问题一直困扰着研究者。有研究认为, 河口及近海是陆源有机碳的重要降解区域, 在光化学以及微生物的共同作用下, 陆源有机碳转化为CO<sub>2</sub>再次释放<sup>[3-5]</sup>。但这不足以解释陆源有机碳的全部归宿。河口及近海生态系统往往呈异养性, 其自身生产力不能满足系统对能量的需求, 陆源有机碳作为补充碳源为生态系统提供了额外营养<sup>[6-8]</sup>, 这或许是失踪碳汇的一个重要归宿。

黄河是中国第二大河, 它每年将 $6.0 \times 10^4$  t

陆源溶解有机碳(DOC)和 $4.1 \times 10^5$  t陆源颗粒有机碳(POC)输送进入渤海<sup>[9]</sup>。在水动力的作用下, 黄河输送陆源有机碳主要停留在了河口附近海域以及莱州湾内<sup>[10]</sup>。陆源有机碳的输入维系了该区域较高的渔获产量。研究表明, 在该区域内, 黄河陆源有机碳输入与多种鱼类的渔获量显著相关<sup>[11]</sup>。黄河陆源输入有机碳季节变化明显, 受降雨以及调水调沙活动影响, 全年60%以上的陆源有机碳输送集中在夏季<sup>[9]</sup>。陆源有机碳输入的时空变化也会影响其对生态系统营养贡献的格局<sup>[12-13]</sup>。但目前关于黄河口此方面的研究鲜见报道。基于此, 笔者对比研究了陆源有机碳对黄河口及周边海域4种常见鱼类营养贡献的时空特征, 以期加深对陆源有机碳耦合陆地生态系统与海洋生态系统过程的认识, 为寻找“失踪”

**收稿日期:** 2020-01-07

**基金项目:** 烟台市科技创新发展计划项目(2020MSGY059; 2020MSGY073); 山东省海洋生态修复重点实验室开放基金(201909)

**作者简介:** 王 斐(1984—), 男, 助理研究员, 山东烟台人, 主要从事海洋生态方面研究。E-mail: wangfei8230393@163.com

**通信作者:** 张明亮, 副研究员。E-mail: zhangml1982@126.com

陆源有机碳提供线索。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

分别在2011年夏季(8月)和秋季(10月)对黄河口附近海域E(119°06'E, 37°45'N)和莱州湾B(119°21'E, 37°33'N)两个站点进行调查取样(图1)。调查网具为单船底拖网,网口周长30.6 m,网囊网目20 mm。每站拖曳1 h,拖速3.5 kn,拖曳时,网口宽度约8 m。从渔获物中选取了4种海域常见物种斑尾刺虾虎鱼(*Acanthogobius ommaturus*)、短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)、矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)、青鳞小沙丁鱼(*Sardinella zunasi*)用于实验分析。研究所采用以上4种样品平均体质量分别为(28.9 ± 1.3) g、(20.1 ± 4.7) g、(17.9 ± 3.2) g、(10.3 ± 0.9) g。

### 1.2 样品预处理与测定

每站位每物种各取5尾,样品-20℃冷冻保存,带回实验室取背部肌肉,-80℃冷冻干燥,研磨成粉末后加入1 mol·L<sup>-1</sup>稀盐酸酸化,再次冷冻干燥以备稳定同位素分析。通过Flash EA1112 HT元素分析仪(Thermo Fisher Scientific Inc.,

USA)与MAT 253同位素比率质谱仪(Thermo Fisher Scientific Inc., USA)联用测定碳氮稳定同位素。以式(1)计算碳氮稳定同位素比值率:

$$\delta X = (R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000 \quad (1)$$

式(1)中, $X$ 表示<sup>13</sup>C或<sup>15</sup>N, $R_{\text{sample}}$ 表示样品<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C或<sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N, $R_{\text{standard}}$ 表示标准<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C或<sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N。

$\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 比值率计算分别以PDB(Pee Dee Belemnite)和空气中氮气为标准,精度分别为±0.1‰和±0.2‰。

### 1.3 统计分析

多变量相似性分析(multivariate analysis of similarity, MANOSIM)可以将高维度数据进行降维,并评估降维后数据组的整体相似性以及相似性是否显著。本研究应用PRIMER 7对样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 进行了MANOSIM分析。在分析过程中,分别以物种、季节以及物种、站位为因子,进行二元相似性分析,研究不同物种稳定同位素成分在时间、空间尺度上的相似性。以软件计算 $R$ 值判断样品组间相似性,若 $R < 0.25$ ,则样品组间相似性较高;0.25 ≤  $R$  ≤ 0.50,则样品组间相似性中等;若 $R > 0.50$ ,则样品组间相似性较低。

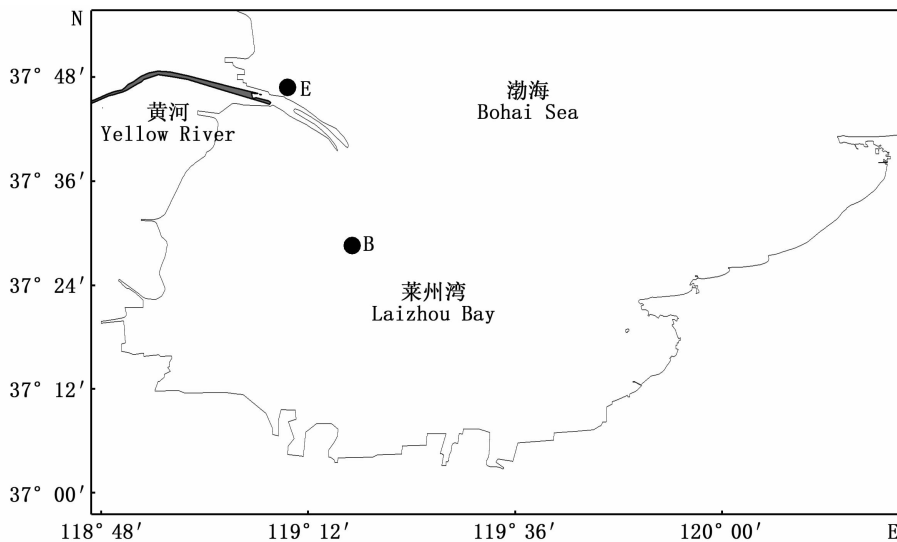


图1 调查站位

Fig. 1 Sample stations

注: E、B 分别为黄河口、莱州湾站位

Note: E, B represent stations of the Yellow River Estuary and the Laizhou Bay

R语言包SIAR提供了基于贝叶斯算法的稳定同位素分析方法,本文以此计算了陆源有机碳对各物种的营养贡献。在计算过程中,参考张明亮等<sup>[14]</sup>对黄河口以及莱州湾有机质来源的研究,将营养来源设置为河流源有机质、陆源有机质、海源有机质3种。参照张明亮等<sup>[14]</sup>、MIDDELBURG和NIEUWENHUIZE<sup>[15]</sup>、喻涛<sup>[16]</sup>的研究结果,将河流源有机质、陆源有机质、海源有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 分别设置为 $(-30.0 \pm 0.4)\text{‰}$ 、 $(-26.0 \pm 0.4)\text{‰}$ 、 $(-18.1 \pm 0.9)\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ 分别设置为 $(9.0 \pm 0.7)\text{‰}$ 、 $(1.0 \pm 0.7)\text{‰}$ 、 $(6.0 \pm 1.2)\text{‰}$ 。样品 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 在计算前经过校正,校正过程中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 所采用的营养富集因子(trophic enrichment factors, TEF)采用MCCUTCHAN<sup>[17]</sup>的研究结果,分别为 $(1.1 \pm 1.3)\text{‰}$ 和 $(2.8 \pm 1.4)\text{‰}$ 。根据李凡等<sup>[18]</sup>研究,斑尾刺虾虎鱼、短吻红舌鳎、矛尾虾虎鱼、青鳞小沙丁鱼分别属于底栖与游泳动物混合食性、底栖动物食性、底栖与游泳动物混合食性、浮游动物食性,营养级分别为3.65、3.67、3.74、3.52。

## 2 结果与分析

### 2.1 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 特征

以物种和季节为因子的二元MANOSIM分析表明,各物种的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 在时间尺度上变化不大( $R=0.08, P<0.01$ );以物种和站位为因子的二元MANOSIM分析表明,各物种的 $\delta^{13}\text{C}$

和 $\delta^{15}\text{N}$ 在空间尺度上变化不大( $R=0.19, P<0.01$ )(表1)。将各物种 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 经TEF校正后,发现其更偏近于陆源有机质、海源有机质两种营养来源,表明陆源有机质、海源有机质是所研究物种的主要营养来源(图2)。

### 2.2 陆源有机碳营养贡献的时间变化

通过SIAR计算发现,河流源有机碳对各物种营养贡献较低,海源有机碳、陆源有机碳构成了生物的主要营养来源。虽然在时间尺度上各物种的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 展现出了较高的相似性,但其营养来源发生了一定程度上的变化。在夏季,陆源有机碳对斑尾刺虾虎鱼、短吻红舌鳎、矛尾虾虎鱼、青鳞小沙丁鱼的营养贡献分别是63.0%、54.4%、64.6%、84.6%,其在秋季的贡献分别为54.3%、47.1%、60.3%、52.6%,夏季较秋季分别高出了8.7%、7.3%、4.3%、32.0%(图3)。

### 2.3 陆源有机碳营养贡献的空间变化

在空间尺度上,陆源有机碳对各物种的营养贡献也存在差异。在黄河口区域,陆源有机碳对斑尾刺虾虎鱼、短吻红舌鳎、矛尾虾虎鱼、青鳞小沙丁鱼的营养贡献分别是68.3%、58.7%、68.5%、72.7%,在莱州湾,其贡献分别为48.5%、46.3%、54.4%、59.5%。在黄河口区域,陆源有机碳营养贡献较莱州湾分别高出了19.8%、12.4%、14.1%、13.2%(图4)。

表1 各物种稳定同位素特征

Tab.1 Stable isotopic characteristics of each species

物种 Species	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$				$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$			
	E(夏) E(Summer)	E(秋) E(Autumn)	B(夏) B(Summer)	B(秋) B(Autumn)	E(夏) E(Summer)	E(秋) E(Autumn)	B(夏) B(Summer)	B(秋) B(Autumn)
斑尾刺虾虎鱼 <i>Acanthogobius ommaturus</i>	-19.62 ± 0.57	-18.49 ± 0.75	-17.96 ± 0.59	-17.84 ± 0.43	11.23 ± 0.96	12.00 ± 1.09	11.33 ± 1.82	12.00 ± 0.77
短吻红舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	-18.79 ± 0.97	-17.79 ± 0.29	-17.67 ± 0.26	-17.82 ± 0.77	11.34 ± 0.82	10.96 ± 0.62	11.47 ± 1.71	11.34 ± 1.46
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	-19.74 ± 0.16	-19.00 ± 0.53	-18.48 ± 0.53	-17.99 ± 0.92	10.66 ± 0.33	11.01 ± 0.82	12.37 ± 2.00	12.03 ± 0.91
青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	-20.11 ± 1.16	-18.69 ± 0.88	-19.13 ± 0.93	-18.08 ± 0.69	10.51 ± 0.84	10.29 ± 0.69	10.77 ± 0.59	12.73 ± 0.96

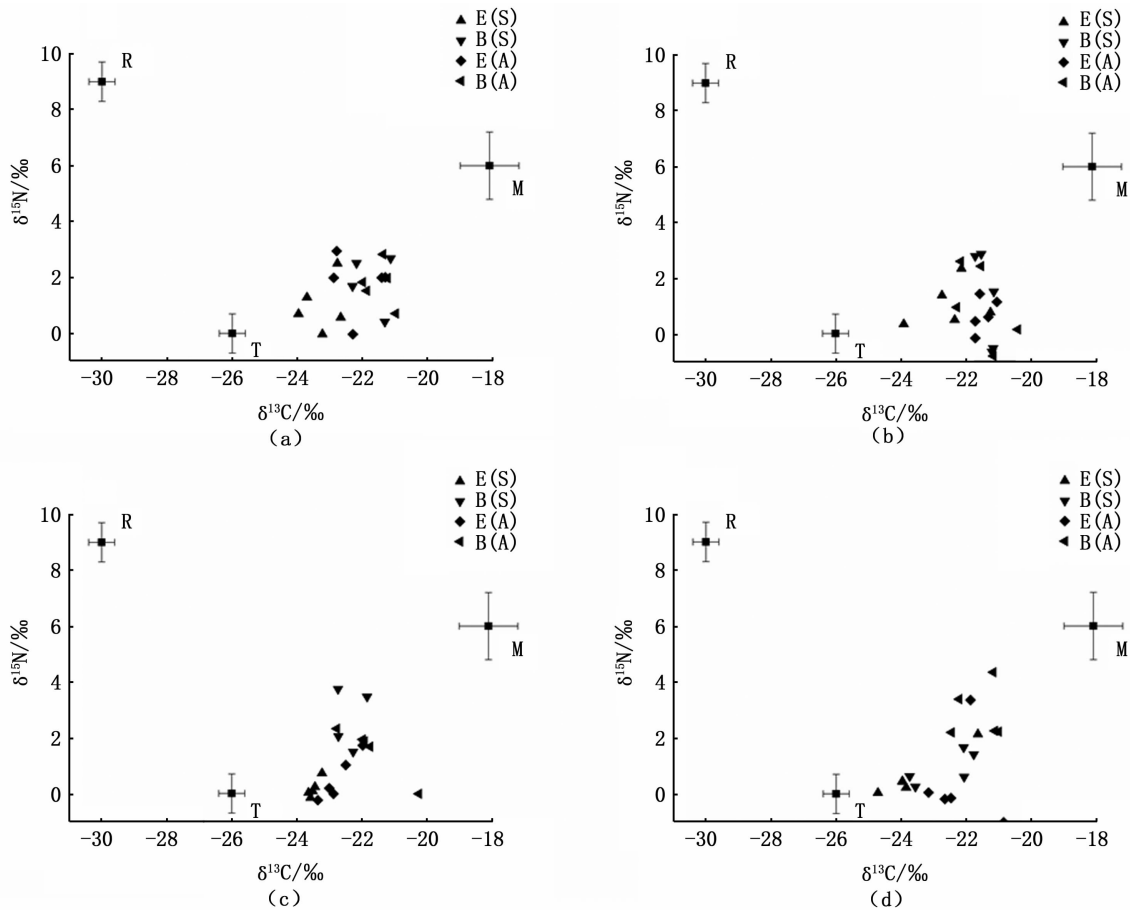


图2 校正后各物种稳定同位素时空特征

Fig. 2 Temporal and spatial stable isotopic characteristics adjusted for trophic enrichment factors for each species

注:分图 a、b、c、d 分别为斑尾刺虾虎鱼、短吻红舌鲷、矛尾虾虎鱼、青鳞小沙丁鱼稳定同位素时空特质;图中 R、M、T 分别代表河流源、海源、陆源有机质;E、B 分别为黄河口、莱州湾站点;S、A 分别为夏季、秋季

Note: a, b, c, d are temporal and spatial stable isotopic characteristics of *Acanthogobius ommaturus*, *Cynoglossus joyneri*, *Chaeturichthys stigmatias*, and *Sardinella zunasi* respectively; R, M, T represent riverine, marine and terrestrial organic matters respectively; E, B represent stations of the Yellow River Estuary and the Laizhou Bay respectively; S, A represent summer and autumn respectively

### 3 讨论

大量研究表明,陆源有机碳为河口、近海生态系统提供了额外的物质和能量,对维系生态系统的结构与功能起了重要作用。ABRANTES 和 SHEAVES<sup>[7]</sup>通过碳氮稳定同位素示踪,研究了澳大利亚罗斯河口 2 个潟湖生物的营养来源,发现池塘周边陆生植物在生态系统能量来源中占了相当大的比重;对澳大利亚皇后岛河口潟湖 38 种鱼类 224 个样品的碳氮稳定同位素进行研究,也发现了相似的结果<sup>[8]</sup>;DUNTON 等<sup>[12]</sup>发现位于阿拉斯加近海的波弗特河口潟湖动物的稳定同位素特征指向了其营养来源的陆地特征。陆源有机碳对近海食物网的营养贡献存在着显著的空间变化。ABRANTES 和 SHEAVES<sup>[7-8]</sup>也发

现,河口周边陆生植物分布的空间变化,也导致了陆源有机碳对生态系统营养贡献的差异。在阿拉斯加近海,地表径流耦合了陆地生态系统与海洋生态系统,冰盖覆盖多的区域,通过径流输入海洋的陆源有机碳往往较多,陆源有机碳对鱼类以及无脊椎动物的营养贡献也较高<sup>[13]</sup>。陆源有机碳对生态系统的营养贡献还存在着显著的时间变化,其在丰水期的贡献往往高于枯水期。HOFFMAN 等<sup>[19]</sup>研究发现,在美国马塔波尼河口,当进入丰水期时,随着输送进入河口的陆源有机碳含量上升,其营养贡献也上升。陆源有机碳对系统营养贡献空间尺度和时间尺度的变化特征,深刻地刻画了陆源有机碳在河口、近海生态系统中的地位和作用。

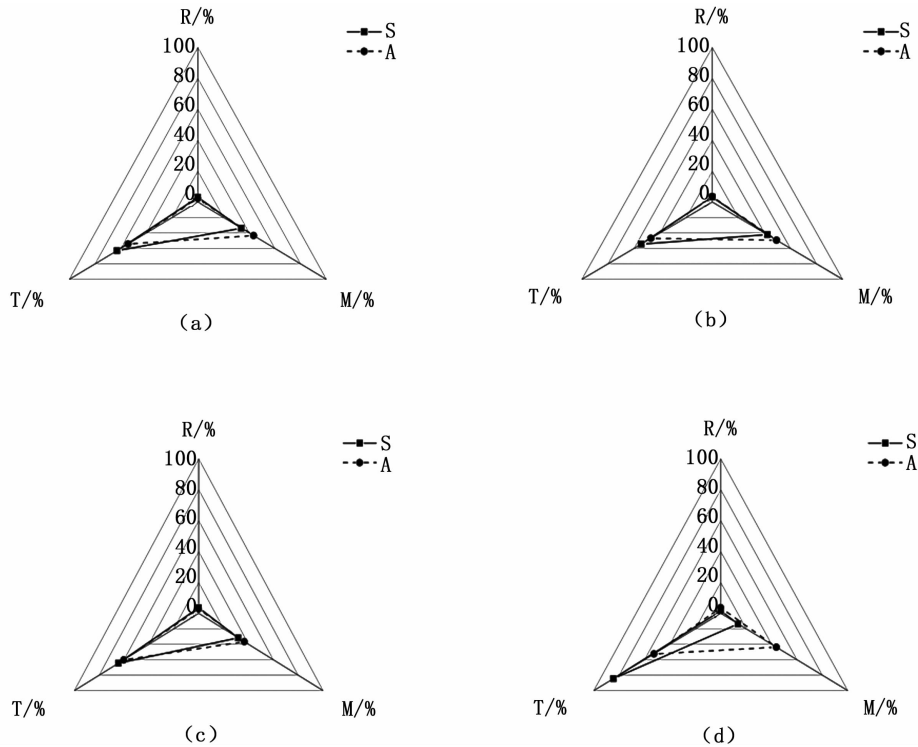


图 3 各物种营养来源的季节变化

Fig. 3 Seasonal variations of nutritional source for each species

注:分图 a、b、c、d 分别为斑尾刺虾虎鱼、短吻红舌鲷、矛尾虾虎鱼、青鳞小沙丁鱼营养来源的季节变化;图中 R、M、T 分别代表河流源、海源、陆源有机质;S、A 分别为夏季、秋季

Note: a, b, c, d are seasonal variations of nutritional source of *Acanthogobius ommaturus*, *Cynoglossus joyneri*, *Chaeturichthys stigmatias*, and *Sardinella zunasi* respectively; R, M, T represent riverine, marine and terrestrial organic matters respectively; S, A represent summer and autumn respectively

在河口、近海环境中,可供生物利用的有机碳的性质和数量影响了生物的营养来源<sup>[7-8]</sup>。一般来说,自生(海源、河流源)有机质主要成分为碳水化合物、脂肪酸、蛋白质;陆源有机质主要成分为腐殖酸和木质素等,相较于自生有机质,陆源有机质不易被生物利用<sup>[20-22]</sup>。生物更倾向于利用环境中的自生有机质。但河口、近海生态系统的异养性导致生物不得不利用环境中的陆源有机质。如在莱州湾,自生有机碳在浮游动物体内较在有机碳库内更为富集,表现出对自生有机碳更高的选择性<sup>[23]</sup>。有机碳的含量也影响生物的营养来源,当环境中某种有机碳含量升高时,

其对生物的营养贡献往往升高。如在美国夏威夷希洛湾和约克河口,当环境中陆源有机碳含量上升时,陆源有机碳对浮游动物及鱼类的营养贡献也随之上升<sup>[19, 24-25]</sup>。在澳大利亚河口潟湖区域,如沿岸植被主要为 C3 红树林植物,则来自于 C3 植物的陆源有机碳提供了更多的物质和能量;如沿岸植被主要为 C4 盐沼植物,则来自于 C4 植物的陆源有机碳提供了更多的物质和能量<sup>[7-8]</sup>。在黄河口及莱州湾,环境中河流有机碳含量较低,海源与陆源有机碳占据了有机碳库的绝大部分<sup>[14, 23]</sup>,这也决定了海源与陆源有机碳能够成为生物最主要的营养来源。

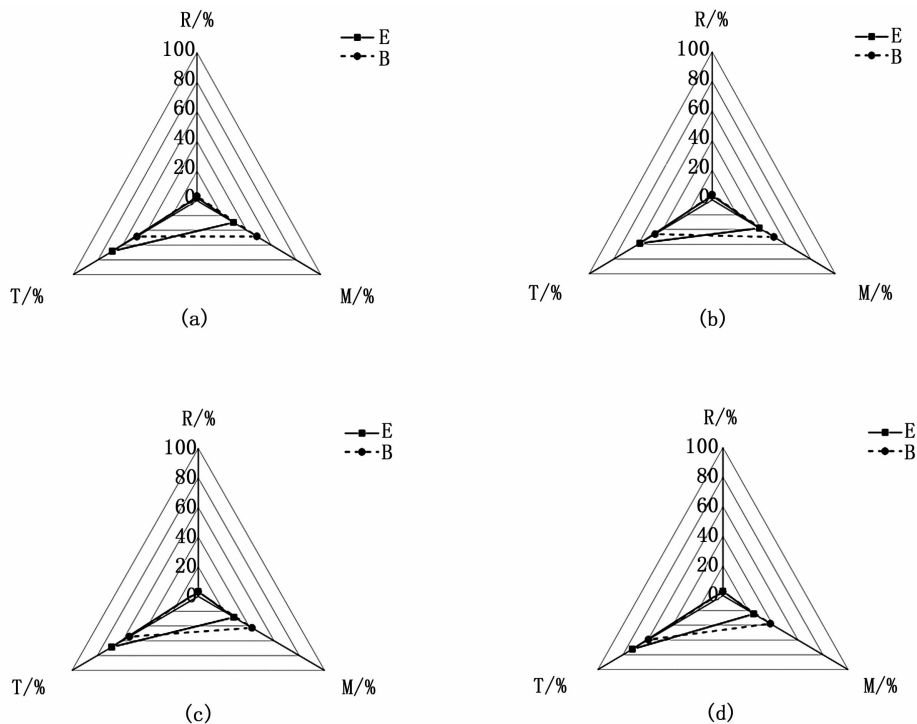


图4 各物种营养来源的空间变化

Fig. 4 Spatial variations of nutritional source for each species

注:分图 a、b、c、d 分别为斑尾刺虾虎鱼、短吻红舌鳎、矛尾虾虎鱼、青鳞小沙丁鱼营养来源的空间变化;图中 R、M、T 分别代表河源源、海源、陆源有机质; E、B 分别为黄河口、莱州湾站点

Note: a, b, c, d are spatial variations of nutritional source of *Acanthogobius ommaturus*, *Cynoglossus joyneri*, *Chaeturichthys stigmatias*, and *Sardinella zunasi* respectively; R, M, T represent riverine, marine and terrestrial organic matters respectively; E, B represent stations of the Yellow River Estuary and the Laizhou Bay respectively

陆源有机碳对所研究 4 种鱼类的营养贡献表现出了明显的季节差异,夏季营养贡献要高于秋季。这很可能与黄河陆源输送的季节变化有关。黄河输送陆源有机碳主要集中在夏季,在 2011 年夏季,黄河输送陆源 DOC 与 POC 分别占了全年输送的 60% 与 90% 左右<sup>[9]</sup>。由于黄河输送陆源有机碳以 POC 为主,输送 POC 量较 DOC 量高了一个数量级。基本上可以认为在 2011 年,夏季输送了全年 90% 左右的陆源有机碳入海。在黄河陆源输入的影响下,夏季环境中陆源有机碳含量要高于秋季,从而导致了陆源有机碳的营养贡献夏季要高于秋季。在世界其他地区的研究也发现了类似的规律,在美国夏威夷希洛湾和约克河口,当沿岸径流进入丰水期时,输入陆源有机碳增加,陆源有机碳对浮游动物以及鱼类的营养贡献也较枯水期相对增加<sup>[19, 24]</sup>。

陆源有机碳在研究区域的空间分布特征影响了其营养贡献的空间分布。在水动力分选、悬

浮物沉降、光降解以及微生物降解的综合作用下,陆源有机碳在黄河口区域要高于莱州湾区域<sup>[10, 14]</sup>。这进一步导致了黄河口附近陆源有机碳营养贡献要高于莱州湾,也导致了在河口区域生物对陆源有机碳的利用特征更明显。如在美国夏威夷希洛湾,靠近河口站位的陆源有机碳营养贡献同样高于海湾站点<sup>[24]</sup>。总体上,在黄河陆源有机碳输送时空变化的影响下,陆源有机碳对所研究 4 种鱼类的营养贡献空间和时间尺度变化明显,在河口区域贡献要高于莱州湾内,在夏季要高于秋季。

## 4 小结

黄河口及莱州湾内斑尾刺虾虎鱼、短吻红舌鳎、矛尾虾虎鱼、青鳞小沙丁鱼的  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{15}\text{N}$  在时间 ( $R=0.08, P<0.01$ ) 和空间 ( $R=0.19, P<0.01$ ) 尺度上差异不大。但陆源有机碳对各物种的营养贡献在空间和时间尺度上变化明显,陆源

有机碳对斑尾刺虾虎鱼、短吻红舌鳎、矛尾虾虎鱼、青鳞小沙丁鱼的营养贡献在夏季较秋季分别高出了8.7%、7.3%、4.3%、32.0%，黄河口区域较近海分别高出了19.8%、12.4%、14.1%、13.2%。

#### 参考文献:

- [1] SCHLESINGER W H, MELACK J M. Transport of organic carbon in the world's river [J]. *Tellus*, 1991, 33(2): 172–187.
- [2] HEDGES J I, KEIL R G, BERNNER R I. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? [J]. *Organic Geochemistry*, 1997, 27(5–6): 195–212.
- [3] RAYMOND P A, BAUER J E. Bacterial consumption of DOC during transport through a temperate estuary [J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2000(22): 1–12.
- [4] MAYORGA A, AUFDENKAMPE A K, MASIELLO C A, *et al.* Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazonian river [J]. *Nature*, 2005, 436(7050): 538–541.
- [5] CATHALOT C, RABOUILLE C, TISNÉRAT-LABORDE N, *et al.* The fate of river organic carbon in coastal areas; A study in the Rhône River delta using multiple isotopic ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) and organic tracers [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2013, 118(10): 33–55.
- [6] GATTUSO J, FRANKIGNOUILLE M, WOLLAST R. Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1998, 29(1): 405–434.
- [7] ABRANTES K G, SHEAVES M. Incorporation of terrestrial wetland material into aquatic food webs in a tropical estuarine wetland [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, 80(3): 401–412.
- [8] ABRANTES K G, SHEAVES M. Importance of freshwater flow in terrestrial-aquatic energetic connectivity in intermittently connected estuaries of tropical Australia [J]. *Marine Biology*, 2010, 157: 2071–2086.
- [9] 刘志媛. 黄河口碳的运输特征及通量 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- LIU Z Y. Carbon transport and flux in the Yellow River estuary [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [10] 乔淑卿, 石学法, 白亚之, 等. 黄河口及邻近渤海海域悬浮体和沉积物中有机碳、氮的分布特征及其影响因素 [J]. *沉积学报*, 2011, 29(2): 354–362.
- QIAO S Q, SHI X F, BAI Y Z, *et al.* Distribution of organic carbon, nitrogen in suspended and surface sediments and their controlling factors off the Huanghe (Yellow River) mouth and the nearby Bohai Sea [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 29(2): 354–362.
- [11] 许思思, 宋金明, 李学刚, 等. 渤海渔获物资源结构的变化特征及其影响因素分析 [J]. *自然资源学报*, 2014, 29(3): 500–506.
- XU S S, SONG J M, LI X G, *et al.* Variation characteristics of catch structure in the Bohai Sea and its influencing factors [J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(3): 500–506.
- [12] DUNTON, K H, SCHONBERG S V, COOPER L W. Food web structure of the Alaskan nearshore shelf and estuarine lagoons of the Beaufort Sea [J]. *Estuaries and Coasts*, 2012, 35(2): 416–435.
- [13] WHITNEY E J, BEAUDREAU A H, HOWE E R. Using stable isotopes to assess the contribution of terrestrial and riverine organic matter to diets of nearshore marine consumers in a glacially influenced estuary [J]. *Estuaries and Coasts*, 2017, 41(1): 193–205.
- [14] 张明亮, 姜美洁, 付 翔, 等. 莱州湾沉积物有机质来源 [J]. *海洋与湖沼*, 2014, 45(4): 741–747.
- ZHANG M L, JIANG M J, FU X, *et al.* The source of organic matter in the sediment of Lai Zhou Bay [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(4): 741–747.
- [15] MIDDELBURG J J, NIEUWENHUIZE J. Carbon and nitrogen stable isotopes in suspended matter and sediments from the Schelde Estuary [J]. *Marine Chemistry*, 1997, 60(34): 217–225.
- [16] 喻 涛. 南海北部表层沉积物不同粒级组分中有机质的来源研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2005.
- YU T. A study on sources of different grain-sized fractions of organic matter in the surficial sediments from the northern South China Sea [D]. Xiamen: Xiamen University, 2005.
- [17] MCCUTCHAN J H, LEWIS W M, KENDALL C, *et al.* Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur [J]. *Oikos*, 2003, 103(2): 378–390.
- [18] 李 凡, 徐炳庆, 马元庆, 等. 莱州湾鱼类群落同

- 功能种团的季节变化[J]. 生态学报, 2014, 34(7): 1736 - 1745.
- LI F, XU B Q, MA Y Q, *et al.* Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(7): 1736 - 1745.
- [19] HOFFMAN J C, BRONK D A, OLNEY J E. Organic matter sources supporting lower food web production in the tidal freshwater portion of York River Estuary, Virginia [J]. *Estuaries and Coasts*, 2008, 31(5): 898 - 911.
- [20] ASMALA E, AUTIO R, KAARTOKALLIO H, *et al.* Bioavailability of riverine dissolved organic matter in three Baltic Sea estuaries and the effect of catchment land use [J]. *Biogeosciences*. 2013, 10(11): 6969 - 6986.
- [21] BOUILLON S, MOHAN P C, SCREENIVAS N, *et al.* Source of suspended organic matter and selected feeding by zooplankton by zooplankton in an estuarine mangrove ecosystem as traced by stable isotope [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 208(1): 79 - 92.
- [22] BOUILLON S, RAMAN A V, DAUBY P, *et al.* Carbon and nitrogen stable isotope ratios of subtidal benthic invertebrates in estuarine mangrove ecosystem (Andhra Pradesh, India) [J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2002, 54(5): 901 - 913.
- [23] 张明亮, 李 斌, 齐占会, 等. 陆源有机碳对莱州湾浮游动物能量贡献的初步研究 [J]. *海洋渔业*, 2018, 40(3): 319 - 325.
- ZHANG M L, LI B, QI Z H, *et al.* A preliminary study on energy contribution of terrestrial organic carbon to zooplankton in the Laizhou Bay [J]. *Marine Fisheries*, 2018, 40(3): 319 - 325.
- [24] ATWOOD T B, WIEGNER T N, MACKENZIE R A. Effects of hydrological forcing on the structure of a tropical estuarine food web [J]. *Oikos*, 2012, 121(2): 277 - 289.
- [25] FRANCA S, VASCONCELOS R P, TANNER S, *et al.* Assessing food web dynamics and relative importance of organic matter sources for fish species in two Portuguese estuaries: A stable isotope approach [J]. *Marine Environmental Research*, 2011, 72(4): 204 - 215.

## Nutritional contribution of terrestrial organic carbon to four fish species in the Yellow River Estuary and adjacent coastal waters

WANG Fei<sup>1</sup>, ZHANG Mingliang<sup>1</sup>, LI Fan<sup>1</sup>, LI Shaowen<sup>1</sup>,

XU Binqing<sup>1</sup>, LI Bin<sup>1</sup>, HAN Huizong<sup>1</sup>, QI Zhanhui<sup>2</sup>

(1. Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai Shandong 264006, China;

2. Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment of Guangdong Province, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** Only a small amount of terrestrial organic carbon was found in the ocean organic carbon pool, though 0.40 Gt terrestrial organic carbon was transported to ocean via estuaries each year. This finding indicated that large quantity of terrestrial organic carbon was depleted in the estuaries and coasts, which provided additional materials and energy for the ecosystem. To investigate the material and energy supplement of terrestrial organic carbon transported by the Yellow River to the estuary and coastal system, the nutritional contribution of terrestrial organic carbon to four fish species: *Acanthogobius ommaturus*, *Cynoglossus joyneri*, *Chaeturichthys stigmatias*, *Sardinella zunasi*, was studied using multivariate analysis of similarity (MANOSIM) and stable isotope analysis in R (SIAR). In MANOSIM, the similarity carbon and nitrogen stable isotope in the temporal level was studied by the factors of species and seasons, and that in the spatial level was studied by the factors of species and stations. The similarity was judged by  $R$ .  $R < 0.25$ , similarity was high.  $0.25 \leq R \leq 0.50$ , similarity was in the middle level.  $R > 0.50$ , similarity was in the low level. In the study of SIAR, the nutritional sources of four fish species were considered as riverine, terrestrial and marine sources. The carbon stable isotope of riverine, terrestrial and marine source was  $(-30.0 \pm 0.4)\text{‰}$ ,  $(-26.0 \pm 0.4)\text{‰}$ , and  $(-18.1 \pm 0.9)\text{‰}$  respectively. And the nitrogen stable isotope of riverine, terrestrial and marine source was  $(9.0 \pm 0.7)\text{‰}$ ,  $(1.0 \pm 0.7)\text{‰}$ , and  $(6.0 \pm 1.2)\text{‰}$  respectively. Trophic enrichment factors (TEF) of carbon and nitrogen stable isotope was  $(1.1 \pm 1.3)\text{‰}$  and  $(2.8 \pm 1.4)\text{‰}$  respectively. We found that carbon and nitrogen stable isotope of four species showed no significant difference either in temporal level ( $R = 0.08, P < 0.01$ ) or in spatial level ( $R = 0.19, P < 0.01$ ) by MANOSIM. However, temporal and spatial variations of nutritional contribution of terrestrial organic carbon to four species were obvious. The nutritional contribution of terrestrial organic carbon was 8.7%, 7.3%, 4.3% and 32.0% higher in summer than that in autumn for *Acanthogobius ommaturus*, *Cynoglossus joyneri*, *Chaeturichthys stigmatias* and *Sardinella zunasi* respectively. And nutritional contribution of terrestrial organic carbon was 19.8%, 12.4%, 14.1% and 13.2% higher in estuary than that in coast for *Acanthogobius ommaturus*, *Cynoglossus joyneri*, *Chaeturichthys stigmatias* and *Sardinella zunasi* respectively. Temporal and spatial variations of Yellow River transporting terrestrial organic carbon may lead to variations.

**Keywords:** terrestrial organic carbon; nutritional contribution; stable isotope; MANOSIM; SIAR