

学校编码: 10384
学号: 22320141151314

分类号_密级
UDC

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

黑潮延续体的颗粒有机碳输出通量

Particulate Organic Carbon export flux in the Kuroshio
Extension

王宇宁

指导教师姓名: 蔡平河教授

专 业 名 称: 海洋化学

论文提交日期: 2017 年 9 月

论文答辩时间: 2017 年 9 月

2017 年 9 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

本人声明该学位论文不存在剽窃、抄袭等学术不端行为,并愿意承担学术不端行为所带来的一切后果与法律责任。

声明人(签名):

指导教师(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论	1
1.1 ^{238}U 与 ^{234}Th 的基本性质与应用.....	1
1.1.1 ^{238}U 与 ^{234}Th 的基本性质.....	1
1.1.2 ^{238}U 与 ^{234}Th 在海洋研究中的应用.....	3
1.2 颗粒有机碳通量的研究意义与黑潮延续体区域研究现状.....	3
1.2.1 颗粒有机碳通量的研究意义.....	3
1.2.2 黑潮延续体区域研究现状.....	5
1.3 本文的主要研究内容和目标.....	6
1.4 本文的主要框架.....	7
第二章 区域与研究方法	8
2.1 研究区域概况.....	8
2.2 航次采样情况.....	10
2.3 样品采集流程及分析方法.....	11
2.3.1 水体中颗粒态 ^{234}Th 的采样分析方法.....	11
2.3.2 水体中总态 ^{234}Th 的采样分析方法.....	12
2.3.3 颗粒有机碳 (POC) 的采样分析方法.....	12
2.3.4 水体总态 ^{234}Th 回收率的测量.....	13
2.4 数据质量控制.....	14
2.4.1 ^{234}Th 的数据质量控制.....	14
2.4.2 颗粒有机碳的数据质量控制.....	14
第三章 黑潮延续体中的中尺度行为和真光层 ^{234}Th 亏损	15
3.1 基本水文参数与 ^{234}Th 的分布.....	15
3.1.1 断面温盐及营养盐垂直剖面分布.....	15
3.1.2 温盐的表层分布及平均海表面高度.....	19
3.1.3 叶绿素 (chl-a) 与颗粒有机碳 (POC) 的分布.....	22
3.1.4 黑潮延续体区中 ^{234}Th 的分布与亏损.....	25

第四章 黑潮延续体区中 ^{234}Th 及 POC 输出通量和其控制因素.....	28
4.1 黑潮延续体区中的 ^{234}Th 输出通量.....	28
4.2 POC/ ^{234}Th 比值.....	32
4.3 黑潮延续体的 POC 输出通量与其控制因素.....	33
第五章 总结与展望.....	41
5.1 总结与结论.....	41
5.2 不足以及展望.....	41
参考文献.....	43
附录.....	47
致谢.....	48
附表.....	49

Contents

Abstract(in Chinese)	I
Abstract(in English)	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Basic property and application of ^{238}U and ^{234}Th	1
1.1.1 Basic property of ^{238}U and ^{234}Th	1
1.1.2 Application of ^{238}U and ^{234}Th	3
1.2 The significance and status of POC export studies in the Kuroshio Extension	3
1.2.1 Significance of POC export studies	3
1.2.2 Research status on POC export in the Kuroshio Extension	5
1.3 Research content and objectives	6
1.4 Thesis framework	7
Chapter 2 Research region and methods	8
2.1 Study region	8
2.2 Cruise and sampling	10
2.3 Methods	11
2.3.1 Measurement of particulate ^{234}Th in the water column	11
2.3.2 Measurement of total ^{234}Th in the water column	12
2.3.3 Measurement of POC	12
2.3.4 Measurement of ^{234}Th recovery	13
2.4 Quality control	14
2.4.1 quality control for ^{234}Th	14
2.4.2 quality control for POC	14
Chapter 3 Mesoscale eddies and ^{234}Th deficit in the Kuroshio Extension	15
3.1 Distribution of basic parameters and ^{234}Th	15
3.1.1 Temperature , salinity and nutrient along the sections	15
3.1.2 Temperatur, salinity and SSH	19
3.1.3 Chl-a and POC	22

3.1.4 Deficit of ^{234}Th in the Kuroshio Extension	25
Chapter 4 ^{234}Th flux ,POC flux and their controls in the Kuroshio Extension	28
4.1 ^{234}Th flux in the Kuroshio Extension	28
4.2 POC/^{234}Th ratios	32
4.3 POC flux in the Kuroshio Extension and its controls	33
Chapter 5 Conclusion and prospect	41
5.1 Conclusion	41
5.2 Prospect	41
References	43
Appendix.....	47
Acknowledgment.....	48

厦门大学博硕士论文摘要库

图表目录

图 1.1 铀系及钍系衰变链图(Broecker et al.1982).....	2
图 1.2 海洋生物泵(Raven et al., 1999).....	4
图 1.3 反气旋涡对 POC 输出通量的影响 (Kuanbo Zhou et al,2013)	6
图 2.1 黑潮示意图(Stommel et al,1972).....	9
图 2.2 2015 年 5 月黑潮延续体区海表面高度示意图.....	10
图 2.3 2015 年春季西北太平洋航次采样站位图.....	11
图 3.1 A 断面 200 m 以上温度、盐度及营养盐分布图.....	17
图 3.2 B 断面 200 m 以上温度、盐度及营养盐分布图.....	18
图 3.3 站位盐度、温度表面分布图.....	20
图 3.4 海表面高度分布图.....	21
图 3.5 A 断面叶绿素、POC、 $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 及 $\text{P}^{234}\text{Th}/\text{D}^{234}\text{Th}$ 垂直分布图.....	23
图 3.6 B 断面叶绿素、POC、 $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 及 $\text{P}^{234}\text{Th}/\text{D}^{234}\text{Th}$ 垂直分布图.....	24
图 3.7 A、B 断面 $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 活度比值垂直分布.....	26
表 4.1 黑潮延续体区中的 ^{234}Th 输出通量、 $\text{POC}/^{234}\text{Th}$ 比值和 POC 输出通量... 29	
图 4.1 黑潮延续体区 100 m 处 ^{234}Th 输出通量分布图.....	30
图 4.2 黑潮延续体区不同站位 100 m 处 ^{234}Th 输出通量图.....	31
图 4.3 黑潮延续体区不同区域 100 m 处 ^{234}Th 输出通量图.....	31
图 4.4 黑潮延续体区 $\text{POC}/^{234}\text{Th}$ 垂直分布.....	33
图 4.5 黑潮延续体区 100 m 处 POC 输出通量分布图.....	34
图 4.6 黑潮延续体区不同站位 100 m 处 POC 输出通量图.....	34
图 4.7 黑潮延续体区区域 100 m 处 POC 输出通量图.....	35
表 4.2 世界不同海区中的 ^{234}Th 输出通量、 $\text{POC}/^{234}\text{Th}$ 比值和 POC 输出通量 36	
图 4.8 黑潮延续体区 POC 输出通量与 POC 储量关系图.....	37
图 4.9 反气旋涡区 (A1b A8 B3 B5) POC 输出通量与 POC 储量关系图.....	38
图 4.10 一般大洋区 (A4 A6 B8 B9) POC 输出通量与 POC 储量关系图.....	39
附表 A1 黑潮延续体采样站位盐度、温度、 ^{234}Th 与 ^{238}U 活度及 POC 浓度....	39

List of Figures and Tables

Figure.1.1 Diagram of the Uranium and Thorium decay series(Broecker et al. 1982)..	2
Figure 1.2 The Ocean’s Biological pump(Raven et al., 1999).....	4
Figure 1.3 The influence of anticyclonic eddy on POC flux (Kuanbo Zhou et al, 2013)	6
Figure 2.1 Diagram of the Kuroshio(Stommel et al,1972).....	9
Figure 2.2 Diagram of the SSH in Kuroshio at May 2015.....	10
Figure 2.3 Sampling stations during the spring cruise to the western North Pacific...	11
Figure 3.1 Distribution of temperature ,salinity and nutrients in the upper 200 m along section A.....	17
Figure 3.2 Distribution of temperature ,salinity and nutrients in the upper 200 m along section B.....	18
Figure 3.3 Distribution of temperature and salinity in surface waters.....	20
Figure 3.4 Diagram of Sea Surface Height.....	21
Figure 3.5 Distribution of Chl-a , POC , $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ and $\text{P}^{234}\text{Th}/\text{D}^{234}\text{Th}$ along Section A	23
Figure 3.6 Distribution of Chl-a , POC , $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ and $\text{P}^{234}\text{Th}/\text{D}^{234}\text{Th}$ along Section B	24
Figure 3.7 Profiles of $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ in Section A and B.....	26
Table 4.1 ^{234}Th Fluxes、 POC/ ^{234}Th Ratio and POC Fluxes in Kuroshio Extent.....	29
Figure 4.1 Distribution of ^{234}Th Fluxes at 100 m in the Kuroshio Extention Zone.....	30
Figure 4.2 ^{234}Th Fluxes at 100 m of each stations in the Kuroshio Extention Zone....	31
Figure 4.3 ^{234}Th Fluxes at 100 m of different region in the Kuroshio Extention Zone	31
Figure 4.4 Profiles of POC/ ^{234}Th in the Kuroshio Extention Zone.....	33
Figure 4.5 Distribution of POC Fluxes at 100 m in the Kuroshio Extention Zone.....	34
Figure 4.6 The POC Fluxes at 100 m of each stations in the Kuroshio Extention Zone	34
Figure 4.7 The POC Fluxes at 100 m of different regions in the Kuroshio Extention Zone.....	35
Table 4.2 ^{234}Th Fluxes、 POC/ ^{234}Th Ratio and POC Fluxes in the world ocean.....	36
Figure 4.8 Correlation of POC Fluxes versus POC inventory in the Kuroshio	

Extention Zone.....	37
Figure 4.9 Correlation of POC Fluxes versus POC inventory in Anticyclonic eddy Zone (A1b A8 B3 B5)	38
Figure 4.10 Correlation of POC Fluxes versus POC inventory in Common Ocean Zone (A4 A6 B8 B9)	39
Table A1 Salinity , Temperature , ^{234}Th and ^{238}U activities, and POC concentration at the stations in the Kuroshio Extention Zone.....	10

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

真光层颗粒有机碳 (POC, Particulate Organic Carbon) 的输出通量反映了海区对大气 CO₂ 的吸收能力, 因此常被用于评估海洋固碳能力。西北太平洋海域作为一个人为 CO₂ 重要的汇, 吸引着众多海洋研究者的目光。但是针对碳通量的研究大多在其北方的黑潮-亲潮混合区中进行, 其在南方的黑潮延续体区却鲜有人为之。黑潮延续体区中终年存在大量的中尺度行为, 而中尺度行为, 无论是气旋涡还是反气旋涡, 都可能改变颗粒有机碳的输出通量。所以黑潮延续体区可能有较大的碳吸收潜力。本文使用 ²³⁴Th/²³⁸U 不平衡法, 对黑潮延续体内不同区域的真光层颗粒有机碳输出通量进行研究, 探讨其控制因素, 为更准确的评估西北太平洋在全球碳循环中的作用做出数据支持。

在 2015 年 4 月期间, 对 30°N 至 40°N, 140°E 至 160°E 内的黑潮延续体中的总态 ²³⁴Th、颗粒态 ²³⁴Th、颗粒有机碳进行了详细的调查。根据温度、盐度、海表面高度等基础参数, 将采样区域划分为两类: 反气旋涡区与一般大洋区。

两个区域内所有站位, 在真光层均出现不同程度的 ²³⁴Th 亏损, 且最大亏损均发生在表层, 并在约 100 m 深处达到 ²³⁴Th/²³⁸U 平衡, ²³⁴Th/²³⁸U 活度比值范围为 0.57 ± 0.02 至 1.15 ± 0.04 。总体来说, 反气旋涡区的 ²³⁴Th 亏损程度大于一般大洋区, 叶绿素与颗粒有机碳浓度同样如此, 这也暗示了两个区域内的 ²³⁴Th 亏损均由生物颗粒所致。

黑潮延续体区中 ²³⁴Th 输出通量分布与水体 ²³⁴Th 亏损分布一致。反气旋涡区 ²³⁴Th 输出通量平均为 $1470 \pm 120 \text{ dpm m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 高出黑潮延续体内一般大洋区 ²³⁴Th 输出通量 $467 \pm 380 \text{ dpm m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 三倍多。而在使用 POC/²³⁴Th 比值将 ²³⁴Th 输出通量转化为颗粒有机碳输出通量后, 发现反气旋涡区颗粒有机碳输出通量 $8.4 \pm 3.5 \text{ mmolC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 高于一般大洋区 ($4.5 \pm 0.7 \text{ mmolC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)。在一般大洋区, 不同站位因混合作用的强弱, 也表现出显著的差异。混合作用较弱的站位颗粒有机碳输出通量高出混合作用强的站位近一倍。对比世界其他海区, 黑潮延续体区的颗粒有机碳输出通量相对较高。

对不同区域内颗粒有机碳输出通量与颗粒有机碳储量进行线性分析, 讨论二者关系。结果发现, 在反气旋涡区和一般大洋区中的颗粒有机碳输出通量与颗粒有机碳储量都存在显著的相关性。

关键词: POC 输出通量; $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 不平衡; 黑潮延续体

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

The magnitude of POC flux from the euphotic zone reflects the capacity of sequestration of atmospheric CO₂. As an important sink of atmospheric CO₂, the northwestern North Pacific has attracted the attention of numerous scientists. However, most of the previous investigations were conducted in the Kuroshio-Oyashio mixed regions and the Oyashio current. In comparison, few studies has been carried out in the Kuroshio Extension where there are a great number of mesoscale eddies in all year round. The mesoscale eddies, both cyclonic eddy and anticyclonic eddy, can change the POC flux inside. Accordingly, the Kuroshio Extension probably has a great capacity of CO₂ fixation. In this study, we measured the POC flux from the euphotic zone within the Kuroshio Extension using ²³⁴Th/²³⁸U disequilibrium and discussed its controls. This study helps to understand the role of the northwestern North Pacific in the sequestration of atmospheric CO₂.

Our investigation was carried out in April 2015. We collected samples of total ²³⁴Th, particulate ²³⁴Th and POC from 30°N to 40°N and from 140°E to 160°E in the Kuroshio Extension. We divided the study region into an anticyclonic eddy region and a common ocean region. The deficit of ²³⁴Th was evident in the euphotic zone at all the stations. The largest deficit always occurred in the surface. ²³⁴Th reached secular equilibrium with ²³⁸U at a depth of ~100 m. ²³⁴Th/²³⁸U ratios varied between 0.57 ± 0.02 to 1.15 ± 0.04 . In general, ²³⁴Th deficit in the anticyclonic eddy region was larger than that in the common ocean region. The Chl-a and POC data also suggest that the ²³⁴Th deficit in both regions was caused by scavenging of biological particles.

The distribution of ²³⁴Th flux is consistent with that of ²³⁴Th deficit in the Kuroshio Extension. The average ²³⁴Th flux in the anticyclonic eddy region was 1470 ± 120 dpm m⁻² d⁻¹, which was 3 times the flux in the common ocean region (467 ± 380 dpm m⁻² d⁻¹). We converted the ²³⁴Th flux estimates into a POC flux using POC/²³⁴Th ratio in the suspended particles. The average POC flux in the anticyclonic eddy region was 8.4 ± 3.5 mmolC m⁻² d⁻¹, while that in the common ocean region is

$4.5 \pm 0.7 \text{ mmolC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Regardless, POC flux in the common ocean region varied greatly due to different mixing effect. At the stations characterized by relatively weak mixing, the average POC flux was 2 times the flux at the stations with strong vertical mixing. Compared to POC fluxes in other oceanic regions, the POC flux in the Kuroshio Extension is relatively high.

Finally, we attempted to examine the relationship between POC flux and POC inventory using a linear least square analysis method. Though the data is limited, we found a significant correlation between POC flux and POC inventory.

Keywords: ^{234}Th - ^{238}U disequilibrium; POC flux; Kuroshio Extension

第一章 绪论

本章介绍了 ^{238}U 与 ^{234}Th 的基本性质与二者在海洋生物地球化学领域的主要应用——测算海洋真光层的颗粒有机碳输出通量。同时也阐述了黑潮延续体海域颗粒有机碳输出通量的研究现状及研究意义。最后提出了主要的研究目标、研究内容和结构框架。

1.1 ^{238}U 与 ^{234}Th 的基本性质与应用

1.1.1 ^{238}U 与 ^{234}Th 的基本性质

铀，原子序数 92，元素符号为 U，位于元素周期表第七周期，也是锕系元素之一。其作为重要的天然放射性元素，在自然界中有 3 种天然同位素，即 ^{238}U 、 ^{235}U 、 ^{234}U ，半衰期分别为 $4.5 \times 10^9 \text{ y}$ 、 $7.04 \times 10^8 \text{ y}$ 、 $2.45 \times 10^5 \text{ y}$ 。三者之中唯 ^{238}U 自然丰度最高，约为 99.3%，经过衰变后产生 ^{234}Th 等一系列子体（图 1.1）。 ^{238}U 在海洋中分布广泛，并以 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ 的形式存在。因 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ 在海水中会与带负电荷的颗粒相互排斥，故在大洋中鲜有颗粒态的 U 存在。据报道，在大洋水体中颗粒态 U 数量 $\leq 0.1\%$ ^[1]，因此可以认为 ^{238}U 在海洋中难以被颗粒吸附。弱颗粒活性与化学行为保守这两个特点，使得 ^{238}U 与盐度有着良好的线性相关性：^[2]。

$$^{238}\text{U}(\text{dpm} / \text{L}) = 0.07081 \times S \quad (1.1)$$

式中 ^{238}U 为 ^{238}U 浓度，S 为盐度。

钍，原子序数 90，元素符号为 Th，与 U 一样是同属第七周期的第 III 副族的锕系元素。与铀相比，钍的同位素种类繁多，但在自然界中的钍几乎全为 ^{232}Th ，相比之下半衰期仅为 24.1 天的 ^{234}Th 含量极低，且极易衰变。在大洋中， ^{234}Th 仅由 ^{238}U 经 α 衰变产生，并以 $\text{Th}(\text{OH})_n^{(4-n)+}$ 的形式存在，因其携带正电，故极易被颗粒物所吸附载带^[3]。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库