

学校编码: 10384 密级_____

学号: 22320130154698

厦 门 大 学

博士学位论文

近海环境中溶解有机物的生产和生物降解
过程

Production and degradation of dissolved organic matter
in coastal systems

吴 凯

指导教师姓名: 戴民汉 教授
刘占飞 副教授

专 业 名 称: 海洋化学

论文提交日期: 2017 年 05 月

论文答辩时间: 2017 年 06 月

2017 年 06 月

**Production and degradation of dissolved organic matter
in coastal systems**

By

Kai Wu

Under the supervision of

Dr. Minhan Dai

Dr. Zhanfei Liu

A Dissertation Submitted to the Graduate School of Xiamen University

For the Degree of

Doctor of Philosophy

College of Ocean and Earth Science

Xiamen, Fujian

June, 2017

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(厦门大学海洋碳循环)课题(组)的研究成果,获得(厦门大学海洋碳循环)课题(组)经费或实验室的资助,在(厦门大学海洋碳循环)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,并愿意承担因学术不端行为所带来的一切后果和法律责任。

声明人 (签名):

指导教师 (签名):

年 月 日

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

目录

图表目录	IX
List of Figures and Tables	XII
摘要	XVI
Abstract	XX
第一章 绪论	1
1.1 海洋溶解有机物(DOM)及其在近海碳循环中的作用	1
1.2 河流输入 DOM 及其生物活性	3
1.2.1 河流 DOM 的来源	4
1.2.2 河流 DOM 活性的研究进展	5
1.3 边缘海 DOM 的生产与消耗	7
1.3.1 河口区	7
1.3.2 陆架区	8
1.3.3 陆坡与海盆区	9
1.4 边缘海与开阔大洋之间 DOM 的交换	12
1.5 科学问题	14
1.6 研究内容和目标	14
1.7 论文框架	15
第二章 样品采集和分析	16
2.1 样品采集方法	16
2.2 样品分析方法	17
第三章 美国德克萨斯州南部河流 DOM 活性及其季节变化	21
3.1 引言	21
3.2 材料和方法	23
3.2.1 研究区域	23

3.2.2 培养实验.....	24
3.3 结果.....	25
3.3.1 河流基本信息.....	25
3.3.2 培养实验过程中细菌丰度和相关化学参数的变化.....	27
3.4 讨论.....	33
3.4.1 河流 DOC 和 DON 的活性及季节变化	33
3.4.2 溶解态氨基酸指示河流中 DOM 的来源和活性	37
3.4.3 溶解态氮的质量平衡.....	39
3.5 结论.....	41
第四章 南海北部珠江冲淡水 and 沿岸上升流区域中 DOC 的 生产及动态变化	43
4.1 引言.....	43
4.2 材料和方法.....	45
4.2.1 研究区域和航次概况.....	45
4.2.2 三端元混合模型.....	47
4.3 结果.....	50
4.3.1 水文特征.....	50
4.3.2 DOC 和 POC 的分布特征	50
4.4 讨论.....	54
4.4.1 夏季南海北部陆架区 DOC 的净生产	55
4.4.2 冲淡水和上升流区域净群落生产力的分配情况.....	60
4.4.3 生物地球化学意义.....	65
4.5 结论.....	66
第五章 南海北部海盆区 TOC 的时空分布特征及其与西菲 律宾海的交换	68
5.1 引言.....	68

5.2 材料与方法.....	70
5.2.1 研究区域和航次概况.....	70
5.2.2 等密度面混合模型.....	72
5.2.3 上层 TOC 储量的计算方法.....	73
5.3 结果.....	74
5.3.1 水文特征.....	74
5.3.2 南海北部海盆区 TOC 的分布特征.....	75
5.3.3 南海北部海盆区上层 100 m TOC 储量.....	76
5.3.4 南海北部海盆区与西菲律宾海 TOC 浓度的比较.....	78
5.4 讨论.....	81
5.4.1 黑潮水入侵对南海北部海盆区上层 100 m TOC 储量的影响.....	81
5.4.2 南海北部海盆区上层 100 m TOC 的生产.....	85
5.4.3 吕宋海峡 TOC 的交换通量.....	87
5.5 结论.....	91
第六章 南海细菌对黑潮 DOC 的降解	93
6.1 引言.....	93
6.2 材料和方法.....	93
6.2.1 研究区域和航次概况.....	93
6.2.2 培养实验.....	94
6.3 结果与讨论.....	96
6.3.1 水文特征.....	96
6.3.2 N20 断面 TOC 的分布特征.....	97
6.3.3 培养实验过程中 DOC 的变化.....	98
6.3.4 生物可利用 DOC 量.....	99
第七章 总结和展望	101
7.1 论文结论.....	101
7.2 特色和创新.....	103

7.3 尚未解决的科学问题和展望.....	104
参考文献	105
附录 攻读博士学位期间发表的相关论文	130
致谢	131

厦门大学博硕士论文摘要库

Table of contents

List of Figures and Tables (in Chinese)	IX
List of Figures and Tables (in English)	XII
Abstract (in Chinese)	XVI
Abstract (in English)	XX
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Marine DOM and its role in the coastal ocean.....	1
1.2 Input of riverine DOM and its bioavailabiliy	3
1.2.1 Sources of riverine DOM.....	4
1.2.2 Bioavailability of riverine DOM.....	5
1.3 Production and degradation of DOM in the coastal ocean.....	7
1.3.1 Estuary	7
1.3.2 Continental shelf	8
1.3.3 Slope and basin	9
1.4 The exchange of DOM between the marginal seas and the open ocean.....	12
1.5 Scientific questions	14
1.6 Objective of this dissertation	14
1.7 Framework of this dissertation.....	15
Chapter 2 Sampling and analysis	16
2.1 Sampling	16
2.2 Analysis.....	17
Chapter 3 Seasonal variations of bioavailable DOM from five rivers in the South Texas, USA	21
3.1 Introduction.....	21
3.2 Materials and methods	23

3.2.1 Study area.....	23
3.2.2 Incubation experiments.....	24
3.3 Results.....	25
3.3.1 River water chemistry.....	25
3.3.2 DOM bioavailability experiments.....	27
3.4 Discussion.....	33
3.4.1 Riverine DOC and DON bioavailability.....	33
3.4.2 Amino acids as indicators for DOM bioavailability.....	37
3.4.3 Mass balance of dissolved nitrogen.....	39
3.5 Conclusions.....	41
Chapter 4 Dynamics and production of DOC in a large continental shelf system under the influence of both river plume and coastal upwelling	43
4.1 Introduction.....	43
4.2 Materials and methods.....	45
4.2.1 Study area and cruise background.....	45
4.2.2 Three end-member mixing model.....	47
4.3 Results.....	50
4.3.1 Hydrography.....	50
4.3.2 Distributions of DOC and POC.....	50
4.4 Discussion.....	54
4.4.1 Net DOC production on the northern South China Sea shelf during summer.....	55
4.4.2 Carbon partitioning of net community production in the plume and upwelling zones.....	60
4.4.3 Biogeochemical implications.....	65
4.5 Conclusions.....	66

Chapter 5 TOC in the South China Sea and its exchange with the Western Pacific Ocean	68
5.1 Introduction.....	68
5.2 Materials and methods	70
5.2.1 Study area.....	70
5.2.2 Isopycnal mixing model.....	72
5.2.3 Estimation of TOC inventory.....	73
5.3 Results.....	74
5.3.1 Hydrography	74
5.3.2 TOC distribution in the central northern South China Sea	75
5.3.3 TOC inventory in the upper 100 m	76
5.3.4 Comparison of TOC distributions between the northern South China Sea and the West Philippine Sea	78
5.4 Discussion	81
5.4.1 The impact of the Kuroshio intrusion on the TOC inventory in the upper 100 m of the northern South China Sea.....	81
5.4.2 Biological production of TOC in the upper 100 m of the central northern South China Sea	85
5.4.3 TOC transport fluxes through the Luzon Strait.....	87
5.5 Conclusions.....	91
Chapter 6 The degradation of Kuroshio DOM by the bacterial community in the South China Sea	93
6.1 Introduction.....	93
6.2 Materials and Methods.....	93
6.2.1 Study area and cruise background	93
6.2.2 Incubation experiments	94

6.3 Results and discussions.....	96
6.3.1 Hydrography	96
6.3.2 Distribution of TOC along the section N20	97
6.3.3 Changes of DOC during the incubation experiments	98
6.3.4 Bioavailable DOC	99
Chapter 7 Conclusions and perspectives	101
7.1 Conclusions.....	101
7.2 Innovations.....	103
7.3 Perspectives.....	104
References	105
Appendix	130
Acknowledgements	131

图表目录

图 1-1 河流-河口-陆架边缘海碳循环示意图	3
图 2-1 DOC/TON 测定工作曲线	17
图 2-2 氨基酸标准的液相色谱图	19
图 3-1 德克萨斯州南部的 5 条河流以及采样站位(S1-S5)的示意图	24
图 3-2 2016 年 1 月(a)和 7 月(b)培养实验中细菌丰度随时间的变化	28
图 3-3 2016 年 1 月(a, c)和 7 月(b, d)培养实验中 DOC ($\mu\text{mol/L}$)和 DON ($\mu\text{mol/L}$) 浓度随时间的变化.....	30
图 3-4 图 3-4 2016 年 1 月(a, c, e)和 7 月(b, d, f)培养实验中 $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ($\mu\text{mol/L}$) NH_4^+ ($\mu\text{mol/L}$)和 DIN ($\mu\text{mol/L}$)浓度随时间的变化.....	31
图 3-5 2016 年 1 月(a, c)和 7 月(b, d)培养实验中溶解态氨基酸(TDAA) ($\mu\text{mol/L}$) (a, b)及 TDAA-C/TOC (c, d)随时间的变化.....	32
图 3-6 2016 年 1 月和 7 月培养实验中 DOC ($\mu\text{mol/L}$)和 DON ($\mu\text{mol/L}$)的降低量 及活性部分所占比例(BDOC%和 BDON%).....	34
图 3-7 2016 年冬、夏季德州南部河流中生物可利用有机氮、溶解无机氮和惰性 有机氮的量.....	35
图 3-8 2016 年 1 月与 7 月河流溶解态氨基酸组分主成分分析的散点图(a)和不同 河流在 PC1 和 PC2 组分上的载入值(b).....	37
图 4-1 2008 年夏季南海北部陆架地形及采样站位图.....	46
图 4-2 2008 年夏季南海北部陆架区调查航次期间的 T-S 图及 DOC 浓度((a) 第一 航段; (b) 第二航段; 颜色代表 DOC 的浓度).....	47
图 4-3 2008 年夏季南海北部陆架区两个航段(Leg 1 and Leg 2)表层温度 ($^{\circ}\text{C}$)、盐 度 (S)、叶绿素 ($\mu\text{g/L}$)、DOC ($\mu\text{mol/L}$)、POC ($\mu\text{mol/L}$)和 PON ($\mu\text{mol/L}$)的平面 分布	51
图 4-4 2008 年夏季南海北部陆架区两个航段(Leg 1 and Leg 2)2 断面和 5 断面的 温度 ($^{\circ}\text{C}$)、盐度、叶绿素 ($\mu\text{g/L}$)、DOC ($\mu\text{mol/L}$)、POC ($\mu\text{mol/L}$)和 PON ($\mu\text{mol/L}$) 的垂直分布.....	53

图 4-5 2008 年夏季南海北部陆架区实测 DOC 与模型结果的比较	55
图 4-6 2008 年夏季南海北部陆架区 2-5 断面珠江冲淡水(a)和上升流(b)影响区域 ΔDOC 与盐度的关系	56
图 4-7 2008 年夏季南海北部陆架区 2 断面和 5 断面ΔDOC (μmol/L)、ΔDIC (μmol/L)和ΔDIN (μmol/L)的垂直分布	59
图 4-8 2008 年夏季南海北部陆架区ΔDOC 与ΔDIC (a, d)、6.6ΔDIN (b, e)和 106ΔDIP (c, f)的关系.....	61
图 4-9 2008 年夏季南海北部陆架区 POC 与ΔDIC (a, b)、ΔPOC 与ΔTOC 的关系	63
图 5-1 南海北部地图及采样站位	70
图 5-2 南海北部陆坡和海盆区及西菲律宾海上层 400 m 的 T-S 分布图 (图(a)点 的颜色代表黑潮水所占的比例; 图(b)点的颜色代表 TOC 的浓度.....	72
图 5-3 2009-2011 年航次调查期间的 T-S 分布图	74
图 5-4 2009-2011 年南海北部及吕宋海峡上层 5 m, 50 m 和 100 m TOC (μmol/L) 的水平分布 (春季: a, d, g; 秋季: b, e, h; 冬季: c, f, i; 5 m: a, b, c; 50 m: d, e, f; 100 m: g, h, i).....	75
图 5-5 2009-2011 年春、秋和冬季南海北部及吕宋海峡上层 100 m TOC 储量(mol m ⁻²)分布.....	76
图 5-6 2011 年春季 WS 断面位温(°C)(a)、盐度(b)和 TOC (μmol/L)(c)的垂直分布	78
图 5-7 2009-2011 年南海北部陆坡及海盆区与西菲律宾海 TOC 垂直分布的比较 (a)TOC 浓度对深度作图; (b)TOC 浓度对位密度作图	79
图 5-8 2009-2011 年南海北部和吕宋海峡上层 100 m 黑潮水(左)与黑潮水 TOC(右) 所占比例.....	81
图 5-9 航次调查期间(a)实测 TOC (μmol/L)与模型预测 TOC (μmol/L)的比较(b) 上层 100 m 实测 TOC 的积分储量(mol m ⁻²)与黑潮水所占比例的关系.....	83
图 5-10 2009-2011 年南海北部上层 100 m 生物过程导致的 TOC 改变量.....	85
图 6-1 2014 年 11 月南海北部及西菲律宾海的采样站位	94

图 6-2 2014 年秋季航次期间南海北部和西菲律宾海采样站位的 T-S 分布图.....	96
图 6-3 N20 断面上层 500 m 位温(°C)、盐度和 TOC ($\mu\text{mol/L}$)的垂直分布图.....	97
图 6-4 培养实验中 DOC ($\mu\text{mol/L}$)浓度与细菌丰度随时间的变化.....	98
表 1-1 全球海域 DOC 的净生产及其在新生产力中所占的比值.....	12
表 3-1 夏季和冬季德克萨斯州南部 5 条河流中相关水化学参数(DOC、DON、 TDAA (total dissolved amino acids)、DIN、DIP)的浓度.....	27
表 3-2 2016 年 1 月和 7 月份培养实验中各条河流的 DON 净消耗量、DIN 的净生 产量、PON 和 DIN 的净生产量、TDAA 的净消耗量及 TDAA-N 的净减少量与 DON 净消耗量的比值.....	41
表 6-1 培养试验中的 DOC 的降解常数及 BDOC 含量.....	100

List of Figures and Tables

Figure 1-1 Carbon cycle along the river-estuary-coastal ocean continuum.....	3
Figure 2-1 Standard curves of DOC and TDN.....	17
Figure 2-2 Chromatogram of the amino acid standards.....	19
Figure 3-1 Map of the South Texas showing the sampling sites (S1-S5) located in the five rivers.....	24
Figure 3-2 Changes in bacterial abundance during the incubation experiments in January (a) and July (b) 2016.....	28
Figure 3-3 Changes in DOC ($\mu\text{mol/L}$) (a, b) and DON ($\mu\text{mol/L}$) (c, d) during the incubation experiments in January (a, c) and July (b, d) 2016.....	30
Figure 3-4 Changes in $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ($\mu\text{mol/L}$) (a, b), NH_4^+ ($\mu\text{mol/L}$) (c, d) and DIN ($\mu\text{mol/L}$) (e, f) during the incubation experiments in January (a, c, e) and July (b, d, f) 2016.....	31
Figure 3-5 Changes in total dissolved amino acids (TDAA) ($\mu\text{mol/L}$) (a, b) and DOC-normalized yields of TDAA (c, d) during the incubation experiments in January (a, c) and July (b, d) 2016.....	32
Figure 3-6 Removal and bioavailable fractions of DOC ($\mu\text{mol/L}$) and DON ($\mu\text{mol/L}$) (BDOC and BDON) during the incubation experiments in January and July 2016.....	34
Figure 3-7 Total dissolved nitrogen from the South Texas rivers divided into BDON ($\mu\text{mol/L}$), DIN ($\mu\text{mol/L}$) and RDON ($\mu\text{mol/L}$) in winter and summer 2016.....	35
Figure 3-8 (a) Amino acids loadings plot and (b) sample scatter plot of the PCA derived from the mol% of the individual amino acids of the South Texas rivers in January and July 2016.....	37
Figure 4-1 Northern South China Sea topography and sampling stations during June-July, 2008.....	46

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.

厦门大学博硕士论文摘要库