

学校编码: 10384

密级_____

学 号: 21120051302175

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

光照、温度、氮磷营养盐及铁对中肋骨条藻
生长的影响

Effect of Irradiance, Temperature, N, P and Fe on the
Growth of *Skeletonema costatum*

丁 页

指导教师姓名: 林元烧 教授

专业名称: 海洋生物

论文提交日期: 2010年06月

论文答辩时间: 2010年06月

2010年06月

厦门大学学位论文原创性声明

本人提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《厦门海域赤潮发生规律与预警技术》课题的研究成果,获得《厦门海域赤潮发生规律与预警技术》课题经费和实验室的资助,在厦门大学海洋学系海洋浮游生物林元烧教授实验室完成。

声明人(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。

声明人（签名）：

年 月 日

中文摘要

中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 是常见的赤潮藻之一, 常暴发形成赤潮, 对海洋生态系统造成严重危害。本研究使用初级生产力培养器 (ICES INCUBATOR) 培养中肋骨条藻, 研究不同温度 (20°C, 25°C 和 30°C)、不同光照强度 (10000 Lux, 4790 Lux, 3010 Lux, 780 Lux 和 490 Lux)、不同氮浓度和不同磷浓度及不同 N/P 比值 (1:1, 12:1, 24:1, 72:1 和 96:1)、不同铁浓度 (1 $\mu\text{mol/L}$, 5 $\mu\text{mol/L}$, 10 $\mu\text{mol/L}$, 20 $\mu\text{mol/L}$ 和 400 $\mu\text{mol/L}$) 对中肋骨条藻生长的影响, 以期阐明该藻形成赤潮的机理提供科学依据。主要研究结果如下:

1. 在本实验条件下, 光照强度为 10000 Lux、温度为 25°C 时, 中肋骨条藻细胞密度最大、比生长率最高, 该条件是中肋骨条藻生长最适宜条件。温度相同时, 随着光照强度的降低, 中肋骨条藻的细胞密度和比生长率下降, 在 780 Lux 和 490 Lux 条件下, 生长甚至受到抑制。

2. 在本实验条件下, N/P 比值对中肋骨条藻生长有明显影响。低 N/P 比值组 (1:1、12:1 和 24:1) 下的中肋骨条藻生长优于 N/P 比值组 (72:1 和 96:1)。当 N/P 比值 < 24 时, 随着 N/P 比值的增加, 该藻细胞密度、最大比生长率均呈增加趋势, 生长曲线更明显; N/P 比值为 24 时, 中肋骨条藻细胞密度、最大比生长率均达到最大值, 为最适 N/P 比值。

3. 在本实验条件下, 磷浓度相同, 在氮浓度 442.5 $\mu\text{mol/L}$ ~ 3532 $\mu\text{mol/L}$ 范围内, 随氮浓度的增加, 中肋骨条藻的细胞密度和最大比生长率趋于减小。氮浓度相同、磷浓度为 18.2 $\mu\text{mol/L}$ 时, 中肋骨条藻细胞密度、最大比生长率高于磷浓度为 36.3 $\mu\text{mol/L}$ 时。

4. 在本实验条件下, 添加适当浓度的微量元素铁可以促进中肋骨条藻的生长。Fe³⁺ 浓度为 10 $\mu\text{mol/L}$ 时, 中肋骨条藻细胞密度、平均比生长率最高。在 Fe³⁺ 浓度过高为 400 $\mu\text{mol/L}$ 时, 受到 Fe³⁺ 的毒害作用, 中肋骨条藻生长受抑制。

关键词: 中肋骨条藻; 生长; 温度; 光照强度; 营养盐; 铁

ABSTRACT

Skeletonema costatum is a common red tide algae, which often erupts forming the red tide and creates severe impact to the marine ecosystem. We raised *S. costatum* using ICES INCUBATOR, and studied how the different temperature (20°C, 25°C and 30°C), the different irradiance (10000 Lux, 4790 Lux, 3010 Lux, 780 Lux and 490 Lux), the different ratio of nitrogen and phosphorus concentration (hereinafter referred to as “NP ratio”) (1:1, 12:1, 24:1, 72:1 and 96:1), the different nitrogen concentrations and the different phosphorus concentrations, the different iron concentrations (1 µmol/L, 5 µmol/L, 10 µmol/L, 20 µmol/L and 400 µmol/L) effect the growth of *S. costatum*. Our study aimed to provide the scientific evidence for red tide forming mechanism. The main results are as follows:

1. The effect of irradiance and temperature on the growth of *S. costatum* was significant. Under the condition of 10000 Lux and 25°C, *S. costatum* grew well with highest maximum density and growth rate (μ). This condition is optimal for the growth of *S. costatum*. When the temperature was the same, the maximum density and growth rate (μ) of *S. costatum* decreased with irradiance's reduction. The low irradiance (490 Lux and 780 Lux) would restrain *S. costatum* growth.

2. The effect of different NP ratio on the growth of *S. costatum* was significant. The optimal NP ratio was 24. In the low NP ratio (1:1, 12:1 and 24:1), *S. costatum* could grow better than in high NP ratio (72:1 and 96:1). The maximum density and growth rate (μ) showed an increasing trend with increased NP ratios when NP less than 24. Both the maximum density and the maximum growth rate (μ_{\max}) of *S. costatum* reached the maximum value when the NP ratio was 24.

3. Under same phosphorus concentration and with the nitrogen concentration's range of 442.5 µmol/L and 3532 µmol/L, the maximum density and the maximum growth rate (μ_{\max}) of *S. costatum* decreased with nitrogen concentration elevation. Under same nitrogen concentration, the maximum density and the maximum growth

rate (μ_{\max}) of *S. costatum* with the nitrogen concentration of 18.2 $\mu\text{mol/L}$ were higher than the nitrogen concentration of 36.3 $\mu\text{mol/L}$.

4. Adding appropriate Fe would promote *S. costatum*'s growth. The maximum density and growth rate (μ) of *S. costatum* were highest with the Fe^{3+} concentration was 10 $\mu\text{mol/L}$. However, when the concentration of Fe^{3+} was higher than 400 $\mu\text{mol/L}$, the growth would become severely restrain which maybe caused by the Fe^{3+} toxic effect.

key words: *S. costatum*; growth; temperature; irradiance; the nutrients; the iron.

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 我国赤潮的发生和现状研究	1
1.1.1 赤潮发生的危害	1
1.1.2 我国赤潮研究的现状	3
1.1.3 浮游植物生长模型	4
1.2 赤潮发生的原因	5
1.2.1 赤潮发生的生物因素--赤潮生物	5
1.2.2 赤潮发生的环境因素	8
1.3 本文研究目的与研究内容	12
第 2 章 温度和光照强度对中肋骨条藻生长的影响	14
2.1. 材料与方法	14
2.1.1 实验材料	14
2.1.2 实验方法	15
2.2 实验结果	16
2.3 讨论	25
2.3.1 光照对中肋骨条藻生长的影响	25
2.3.2 温度对中肋骨条藻生长的影响	27
第 3 章 不同氮磷比对中肋骨条藻生长的影响	29
3.1 材料与方法	29
3.1.1 实验材料	29
3.1.2 实验方法	29
3.2 实验结果	30
3.3 讨论	35
第 4 章 不同铁浓度对中肋骨条藻生长的影响	37

4.1 材料与amp;方法.....	37
4.1.1 实验材料.....	37
4.1.2 实验方法.....	37
4.2 实验结果.....	37
4.3 讨论.....	40
第 5 章 小 结.....	42
5.1 主要研究结果.....	42
5.2 研究的不足与展望.....	43
参考文献.....	44
致 谢.....	56

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Current researchs on China's red tide	1
1.1.1 Harms of red tide	1
1.1.2 Current research on China's red tide	3
1.1.3 Growth model of phytoplankton	4
1.2 Reasons for the happens of red tide	5
1.2.1 Biological factors	5
1.2.2 Environment factors	8
1.3 Objectives and significances of this study	12
Chapter 2 Effect of temperature and irradiance on the growth of <i>Skeletonema costatum</i>	14
2.1. Materials and methods	14
2.1.1 Materials	14
2.1.2 Methods	15
2.2 Results	16
2.3 Discussion	25
2.3.1 Effect of irradiance on the growth of <i>Skeletonema costatum</i>	25
2.3.2 Effect of temperature on the growth of <i>Skeletonema costatum</i>	27
Chapter 3 Effect of N, P on the growth of <i>Skeletonema costatum</i>	29
3.1 Materials and methods	29
3.1.1 Materials	29
3.1.2 Methods	29
3.2 Results	30
3.3 Discussion	35

Chapter 4 Effect of Fe on the growth of <i>Skeletonema costatum</i>	37
4.1 Materials and methods	37
4.1.1 Materials	37
4.1.2 Methods.....	37
4.2 Results	37
4.3 Discussion	40
Chapter 5 Conclusion	42
5.1 General conclusions	42
5.2 Deficiencies and prospects	43
References.....	44
Acknowledgements	56

第 1 章 绪 论

赤潮是由赤潮生物在特定环境条件下爆发性增殖引成的一种异常现象,对渔业、生态、环境造成严重影响 (Paerl, 1997; Zhu *et al.*, 1997; 邹景忠, 1992; 郭卫东等, 1998; 孙冷等, 1999; 沈志良等, 2001)。中肋骨条藻是重要的赤潮种,常暴发形成赤潮,对海洋生态环境造成严重危害,并会对养殖的海洋经济动物造成机械性伤害,甚至造成窒息性死亡,因此,引起了赤潮研究者的广泛关注 (黄文祥等, 1989; 洪君超等, 1992; 霍文毅等, 2001; 韦桂峰等, 2003; 韩笑天等, 2004), 各国学者以其为重要研究对象,开展了诸如生物化学、生理生态学、分子生物学、生态学、海洋地理学以及养殖学等多方面的研究 (Demanche *et al.*, 1979; Zingone *et al.*, 2005; 金德祥等, 1965; 陈慈美等, 1997; 李铁等, 2000; 胡晗华等, 2004)。赤潮的发生、发展和消亡是生物、化学、水文和气象等各因素综合作用的结果,温度和光照强度是影响浮游植物生长的重要环境因子,营养盐是浮游植物生长的物质基础,铁是浮游植物生长所必需的微量元素,它们均是海洋浮游植物发生赤潮的重要因子,研究这些因子对浮游植物生长的影响,对于我们进一步了解赤潮藻的生活史,建立赤潮生态模型并最终预测和防治赤潮有重要意义。因而本论文着重研究了温度、光照强度、营养盐和铁这几方面因子对中肋骨条藻生长的影响, 以期阐明该藻形成赤潮的机理提供科学依据。

1.1 我国赤潮的发生和现状研究

1.1.1 赤潮发生的危害

赤潮是指浮游植物、微生物和某些原生动物在营养物质十分丰富的条件下,大量繁殖和高度密集在水体表面所引起的海水变色的自然现象,是一种多因素综合引起的生态异常现象,已成为全球海洋的一大灾害,对渔业、生态、环境造成严重影响,有毒赤潮生物所产生的毒素还可通过食物链给人类健康造成威胁。随着沿海经济的发展,近年来我国赤潮发生的频率和规模也不断增加 (邹景忠, 1992; 周明远等, 2001)。据不完全统计,我国赤潮70年代有11次,80年代上升至75次,90年代 (1990~2000) 达到280次 (梁松等, 2000)。2001~2007年间,全中国海域共发生赤潮628次; 累计面积124,850 km², 直接经济损失为114,087.5

万元，赤潮高发区为黄海、渤海、东海和南海（表1.1）。在1989年8~10月渤海黄骅市海域裸甲藻赤潮持续近两个月，波及河北天津三省市，造成经济损失3亿多元（张水浸等，1994）。2002年8月15日，山东省近海海域发生30 km²中肋骨条藻赤潮，直接经济损失800万元（中国海洋灾害公报，2002）。2000~2004年福建省海域共发生有记录的赤潮66起，涉及海域面积4,437 km²，直接经济损失5,958万元（福建省海洋环境质量公报，2000~2004）。

表 1.1 中国海城赤潮发生状况统计

Tab. 1.1 The statistical datas on red tide of China sea

年份	赤潮发生次数	影响面积 (km ²)	主要赤潮原因种	直接经济损失 (万元)
2001	77	15,000	中肋骨条藻、尖叶原甲藻、具齿原甲藻和浮动弯角藻	100,000
2002	79	10,150	中肋骨条藻、夜光藻、具齿原甲藻和红色中缢虫	2,300
2003	119	14,550	中肋骨条藻、具齿原甲藻、赤潮异弯藻和夜光藻	4,281
2004	96	26,630	米氏凯伦藻、棕囊藻和中肋骨条藻	6.5
2005	82	27,070	中肋骨条藻、具齿原甲藻、米氏凯伦藻和棕囊藻	6,900
2006	93	19,840	米氏凯伦藻、棕囊藻和多环旋沟藻	--
2007	82	11,610	中肋骨条藻、角毛藻属和布氏双尾藻	600

资料来源：2001~2007 中国海洋灾害公报，--表示无资料

厦门市近二十年以来，由于经济的发展，注入厦门港的污水量可观，有机物污染和富营养化问题突出，赤潮次数增加，范围扩大，对海水养殖业、捕捞业和滨海旅游业造成的危害越来越大。厦门港监测到的赤潮越来越频繁，1962年至

2005年共发现42次赤潮，其中在2001年至2007年的7年里即达29次，占69%，影响面积1,239 km²（表1.2），而几乎每年都有由中肋骨条藻引起的赤潮，中肋骨条藻是厦门海域主要赤潮原因种。

表 1.2 厦门海城赤潮发生状况统计

Tab. 1.2 The statistical datas on red tide of Xiamen sea area

年份	赤潮发生次数	影响面积 (km ²)	主要赤潮原因种	资料来源
2001	3	50	中肋骨条藻和角毛藻	2001年福建省海洋环境质量公报
2002	4	92	中肋骨条藻	2002年厦门市海洋环境质量公报
2003	7	341	中肋骨条藻、裸甲藻和角毛藻	2003年厦门市海洋环境质量公报
2004	3	81	旋链角毛藻	2004年厦门市海洋环境质量公报
2005	7	258	中肋骨条藻和角毛藻	福建省海洋与渔业局网站
2006	4	387	中肋骨条藻和旋链角毛藻	2006年厦门市海洋环境质量公报
2007	5	186	中肋骨条藻、角毛藻属和布氏双尾藻	2007年厦门市海洋环境质量公报

1.1.2 我国赤潮研究的现状

90年代以来，随着我国赤潮研究领域的拓宽和研究内容与国际的接轨，发展进入一个新阶段，开展了以下研究：赤潮生消的观测、赤潮藻的生理生态学研究、赤潮藻种间及藻菌相互作用；赤潮的生物化学治理方法；赤潮的生态数值模拟及围隔生态系实验应用研究等，并取得如下一些进展。

赤潮生消过程的观测：在我国的南北海域胶州湾、长江口、大亚湾和大鹏湾等进行了一些赤潮动态观测，跟踪、调查和分析了一些赤潮发生的全过程（蒋晓峰等，1992；张水浸，1993；洪君超，1994；郭玉洁等，1994），但检测手段与方法落后，而且未深入地从生态学、海洋学角度进行研究。

赤潮藻类的生理生态学特征及营养动力学研究: 研究我国境内常发性赤潮种类, 如中肋骨条藻、尖刺菱形藻、微型原甲藻、夜光藻、海洋原甲藻等的生理生态学特征, 及常量营养盐(例如N, P等)与微量营养元素(包括Fe, Mn等)赤潮藻的影响进行了研究(邹景忠, 1992; 沈阔等, 1995; 周名江, 1997; 石岩峻, 2004)。但对于赤潮多发区富营养化与赤潮暴发的关系, 以及与赤潮相关的生态系统中生物间复杂的相互关系还有待于进一步的研究。

赤潮模型研究: 利用调查资料对几次赤潮的生消过程进行了初步的统计模拟(夏综万等, 1997; 王寿松等, 1997; 乔方利等, 2000; 徐宁, 2001; 陈扬等, 2003), 但未进行基于生态学、海洋学动力过程的数值模拟研究, 离预测、预报赤潮还有很大距离。

赤潮防治的研究: 应用改性粘土等进行了赤潮防治方面研究(俞志明等, 1999; 曹西华等, 2004; 林忠胜等, 2004; 白希尧等, 2004; Yang, 2005), 虽然实验结果令人满意, 但需进行相当规模的现场治理应用研究及寻找各种新的有效治理方法。

1.1.3 浮游植物生长模型

浮游植物生长一般经历延缓期、指数生长期、相对生长下降期、静止期四个阶段, 由此表现出“S”型曲线(陈明耀, 1987)。浮游植物在一个完整的生长过程中其生长速率通常具有慢-快-慢的共同特征, 它的累积生物量最初较小, 被称作延缓期; 在延缓期过后随时间的变化生物量迅速增大, 进入指数生长期; 之后生长趋势减慢, 进入相对生长下降期; 最后生物量稳定在一个饱和值上, 进入静止期。这一过程若用曲线来表示, 是一条拉长的“S”型曲线。由于受生物种类、生态环境、观测指标等诸多因素的影响, 浮游植物的生长过程非常复杂, 任意两种浮游植物的生长过程都不会完全相同, 但每个生长过程都可以用一条特定形状的“S”型曲线来描述, 或者是用“S”型曲线的一个特定部分来描述(邢黎峰, 1997)。

生物生长模型的发展经历了以下阶段: 1. 1798年, Malthus 指数增殖模型建立, 该模型是生物种群生态学中最早建立的一个经典数学模型, 在时间较短时可

用于描述浮游植物生长过程(马知恩, 1996; 李铁等, 2000)。2. 1838 年, Verhulst 提出三参数 Logistic 生长模型, 被广泛用来描述生长种群的增殖, 至今仍然是生物种群生态学的基本公式之一(Smith, 1980; 刘长安等, 1988; 梁文懂等, 1999)。3. 1925 年, 适于描述早期速生的 Gompertz 生长模型被提出。4. 1930 年, 多用于描述森林植物、动物生长的 Mitscherlich 生长模型被提出(Ansumana, 1999; 宛新荣, 2001)。

1.2 赤潮发生的原因

赤潮的发生、发展和消亡是生物、化学、水文和气象等各因素综合作用的结果, 包括了一系列复杂的海洋学过程和生态学过程(Bricelj *et al*, 1997; 齐雨藻, 1994)。赤潮的成因相当复杂, 其机制仍在探索中。

1.2.1 赤潮发生的生物因素--赤潮生物

赤潮发生的内因是赤潮生物, 海洋浮游微藻是引发赤潮的主要生物(周名江, 1999; 邹景忠, 1992), 在4000多种海洋浮游微藻中有260多种能形成赤潮, 其中有70多种能产生毒素。形成赤潮的浮游藻类主要集中在甲藻、硅藻、针胞藻和定鞭藻等门类中, 其中以甲藻类和硅藻类所占的种类最多。常见的赤潮硅藻有: 中肋骨条藻、尖刺菱形藻(*Pseudo-nitzschia pungens*)、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)、中华盒形藻(*Biddulphia sinensis*)、浮动弯角藻(*Eucampia zodiacus*)等。常见的赤潮甲藻有: 夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense*)、海洋原甲藻(*Prorocentrum micans*)、微小原甲藻(*Prorocentrum minimum*)、链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum*)等。另外, 针胞藻纲的赤潮异弯藻(*Heterosigma akashiwo*)和定鞭藻纲的棕囊藻(*Phaeocystis pouchetii*)也是常见的赤潮藻种。

中肋骨条藻是一种在全球近岸海域分布极广的广温低盐性浮游硅藻, 是我国海域主要的赤潮生物, 几乎每年都有多起中肋骨条藻赤潮, 危害面积广。日本的 Hiroshima 湾在 1996 年和 1997 年相继发生大规模中肋骨条藻赤潮, 赤潮密度达到 10^7 cells/L 数量级(Yamamoto *et al.*, 2004)。据 1986~1993 年间长江口及邻近海域赤潮资料统计, 骨条藻赤潮占该区赤潮发生总数的 27% (齐雨藻, 2003)。

2003 年 4 月我国厦门西海域发生了密度大于 10^7 cells/L 的大规模中肋骨条藻赤潮，水体变色，伴有腥臭味（蓝虹等，2004）。2005 年 9 月，江苏海州湾海域发生赤潮，影响面积约 $1,000 \text{ km}^2$ ，主要赤潮生物为中肋骨条藻，直接经济损失 500 万元（中国海洋灾害公报，2004）。

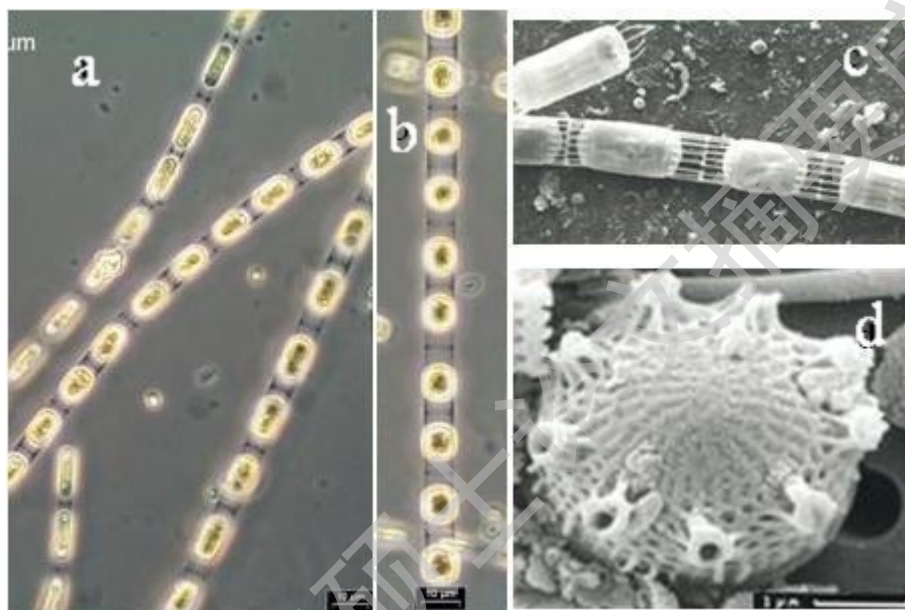


图 1.1 中肋骨条藻 a、b 群体（光镜），c 壳环面（电镜），d 壳面（电镜）

Fig. 1.1 *Skeletonema costatum* (Bahlo R *et al.*)

a, b Colony (LM) c Girdle view (REM) d Valve view (REM)

中肋骨条藻细胞为透镜形或圆柱形（图 1.1），直径为 $6\sim 22 \mu\text{m}$ 。壳面圆而鼓起，着生一圈细长的刺与邻细胞的对应刺相接组成长链。刺的多寡差别很大，有 $8\sim 30$ 条。细胞间隙长短不一，往往长于细胞本身的长度。色素体数目 $1\sim 10$ 个，但通常呈现 2 个，位于壳面，各向一面弯曲，数目少的形状大。2 个以上的色素体则为小颗粒状。细胞核在细胞中央。有增大孢子，形状圆，直径 $2\sim 3$ 倍于母细胞的直径。当链的直径是 $6 \mu\text{m}$ 时，增大孢子直径是 $17\sim 20 \mu\text{m}$ 。

1.2.1.1 骨条藻分类研究进展

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