

学校编码: 10384  
学号: 21620140154182

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

## 两种海洋底栖硅藻附着机制的实验研究

Experimental study on adhesion mechanism of two marine  
benthic diatoms

郭笑娟

指导教师姓名: 高亚辉教授  
专 业 名 称: 水生生物学  
论文提交日期: 2017 年 4 月  
论文答辩时间: 2017 年 5 月  
学位授予日期: 2017 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_  
评 阅 人: \_\_\_\_\_

2017 年 5 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。)

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。

（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

摘要 .....	I
Abstract .....	III
1 前言 .....	1
1.1 底栖硅藻概述 .....	1
1.1.1 硅藻的分类 .....	1
1.1.2 常见的附着硅藻及其生长形态 .....	1
1.2 硅藻附着机理研究进展 .....	2
1.2.1 硅藻的附着方式 .....	2
1.2.2 硅藻的附着基质 .....	3
1.2.3 硅藻的附着过程 .....	4
1.2.4 硅藻胞外多聚物 .....	5
1.2.5 影响硅藻附着的主要因素 .....	6
1.3 附着硅藻的危害及防治方法 .....	8
1.3.1 附着硅藻的危害 .....	9
1.3.2 附着硅藻的防治方法 .....	9
1.4 本论文主要研究内容 .....	10
2 材料与方法 .....	12
2.1 实验材料 .....	12
2.1.1 藻种与培养基 .....	12
2.1.2 实验仪器 .....	13
2.2 实验方法 .....	13
2.2.1 硅藻的培养条件 .....	13
2.2.2 藻体生物量的测定 .....	15
2.2.3 藻体附着率的测定 .....	15
2.2.4 叶绿素 a 含量的测定 .....	15
2.2.5 多糖含量的测定 .....	15
2.2.6 蛋白质含量的测定 .....	17

2.2.7 糖醛酸含量的测定 .....	18
2.2.8 硫酸基含量的测定 .....	19
2.2.9 附着基质上爪哇曲壳藻亚缢变种附着率的测定 .....	20
2.2.10 数据分析 .....	21
<b>3 结果 .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 环境因子对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....</b>	<b>22</b>
3.1.1 两种硅藻的生长形态及附着方式 .....	22
3.1.2 盐度对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....	23
3.1.3 光强对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....	31
3.1.4 氮浓度对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....	38
3.1.5 磷浓度对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....	45
3.1.6 硅浓度对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....	52
<b>3.2 附着基质及光照条件对爪哇曲壳藻亚缢变种附着率的影响 .....</b>	<b>57</b>
<b>4 讨论 .....</b>	<b>59</b>
4.1 盐度对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....	59
4.2 光强对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....	60
4.3 氮浓度对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....	60
4.4 磷浓度对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....	61
4.5 硅浓度对两种硅藻各生长时期生化成分及附着率的影响 .....	61
4.6 附着基质及光照条件对爪哇曲壳藻亚缢变种附着率的影响 .....	62
<b>5 结论与展望 .....</b>	<b>63</b>
5.1 结论 .....	64
5.2 展望 .....	65
<b>参考文献 .....</b>	<b>66</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>72</b>

---

## Contents

<b>Abstract (Chinese)</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract (English)</b> .....	<b>III</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Benthic diatoms</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 Classification of diatoms.....	1
1.1.2 Common attached diatoms and its growthform.....	1
<b>1.2 Advance in adhesion mechanism of diatoms</b> .....	<b>2</b>
1.2.1 Attachment methods .....	2
1.2.2 Attachment substratum .....	3
1.2.3 Attachment process .....	4
1.2.4 Extracellular polymeric substances of diatoms.....	5
1.2.5 Main influence factors of diatoms attachment.....	6
<b>1.3 Harm and control measure of attached diatoms</b> .....	<b>8</b>
1.3.1 Harm of attached diatoms .....	9
1.3.2 Control measure of attached diatoms.....	9
<b>1.4 Contents of this study</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Materials and methods</b> .....	<b>112</b>
<b>2.1 Materials</b> .....	<b>12</b>
2.1.1 Diatom strain and culture medium.....	12
2.1.2 Instruments.....	13
<b>2.2 Methods</b> .....	<b>13</b>
2.2.1 Culture conditions .....	13
2.2.2 Determination of biomass .....	15
2.2.3 Determination of adhesion ratio.....	15
2.2.4 Determination of Chlorophyll a content .....	15
2.2.5 Determination of polysaccharides content.....	15

2.2.6	Determination of protein content .....	17
2.2.7	Determination of uronic acid content .....	18
2.2.8	Determination of sulfate content.....	19
2.2.9	Determination of the adhesion ratio of <i>Achnanthes javanica</i> var. <i>subconstricta</i> on different substrata .....	200
2.2.10	Statistics .....	211
<b>3</b>	<b>Results .....</b>	<b>222</b>
<b>3.1</b>	<b>Effects of environmental factors on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases .....</b>	<b>222</b>
3.1.1	Attachment methods and growthform of two diatoms.....	222
3.1.2	Effects of salinity on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases .....	233
3.1.3	Effects of light intensity on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases.....	31
3.1.4	Effects of N concentration on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases.....	38
3.1.5	Effects of P concentration on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases.....	45
3.1.6	Effects of Si concentration on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases.....	52
<b>3.2</b>	<b>Effects of substrata and light conditions on the adhesion ratio of <i>Achnanthes javanica</i> var. <i>subconstricta</i> .....</b>	<b>57</b>
<b>4</b>	<b>Discussion.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>Effects of salinity on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2</b>	<b>Effects of light intensity on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases.....</b>	<b>60</b>
<b>4.3</b>	<b>Effects of N concentration on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases .....</b>	<b>60</b>

4.4 Effects of P concentration on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases .....	61
4.5 Effects of Si concentration on biochemical compositions and adhesion ratio of two benthic diatoms in four growth phases .....	61
4.6 Effects of substrata and light conditions on the adhesion ratio of <i>Achnanthes javanica</i> var. <i>subconstricta</i> .....	62
<b>5 Conclusion and prospect .....</b>	<b>63</b>
5.1 Conclusion .....	64
5.2 Prospect.....	65
<b>References .....</b>	<b>66</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>72</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要



## 摘要

海洋底栖硅藻是海洋生态系统中重要的单细胞真核生物类群,经常附着在浅海底部、潮间带的泥沙滩、岩石和动植物表面以及各种人工设施上,是常见的海洋污损生物之一,对人类海洋工程设施造成很大危害。底栖硅藻主要依靠分泌的胞外多聚物附着在基质表面,其生长和胞外多聚物分泌受光照、水体温度、盐度、营养盐等的显著影响,对环境因子的变化反应敏感。但不同底栖硅藻种类其生长特性、生化组分、附着形式、附着基的组分与受控因素也不同。目前关于海洋底栖硅藻附着机制的研究还很有限,尤其是附着行为与环境因子间的关系及生理响应方面的研究比较薄弱。研究不同底栖硅藻的附着机制对海洋底栖生态系统和污损生物研究具有重要的理论和实际意义。

本文选择了我国沿海两种常见底栖硅藻,爪哇曲壳藻亚缢变种 (*Achnanthes javanica* var. *subconstricta*) MMDL5271 和新月菱形藻 (*Nitzschia closterium*) MMDL50319,在实验室培养条件下,分别研究了其在不同盐度、光强、氮、磷、硅营养盐条件下胞内多糖和蛋白质的变化,以及胞外多聚物不同组分中多糖、蛋白质、糖醛酸和硫酸基含量在各生长时期的变化,同时记录了两种硅藻在不同条件下的附着率。结果表明:两种硅藻在盐度 30,光强  $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,氮浓度  $7.69\text{mg/L}$ ,磷浓度  $0.65 \text{mg/L}$ ,硅浓度  $3.36 \text{mg/L}$  条件下生长速率最高,此时细胞内叶绿素 a 含量,总糖及总蛋白含量最高。高光强  $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  和高氮浓度  $76.9 \text{mg/L}$  可以促进硅藻胞外多糖的分泌,低磷浓度  $0.065 \text{mg/L}$  有利于硅藻胞内多糖的积累,高磷浓度  $6.5 \text{mg/L}$  有利于硅藻附着。两种硅藻生化成分的合成和释放具有种间特异性,附着方式和附着率变化趋势也不相同。爪哇曲壳藻亚缢变种以附着柄附着在基质上,实验中附着率一直维持在较高水平 (30.36%-32.96%);新月菱形藻以壳面附着在基质上,实验前期附着率较低 (1.14%),随着细胞密度增加附着率逐渐增加 (6.24%)。实验后期两种硅藻附着率均显著降低 (爪哇曲壳藻亚缢变种 16.21%、新月菱形藻 3.51%)。硅藻胞外多糖中糖醛酸含量与实验早期的附着率正相关。

对爪哇曲壳藻亚缢变种在不同光照条件下三种常见建筑材料上附着率的研究结果为:有机玻璃 > 玻璃 > 不锈钢,全遮光 > 底部遮光 > 不遮光。爪哇曲

壳藻亚缢变种在疏水基质上附着率较高，且偏好黑暗附着，底部入射光线对其附着有显著的抑制作用。

关键词：底栖硅藻；生长条件；生化成分；附着率

厦门大学博硕士论文摘要库

## Abstract

Marine benthic diatom is an important kind of unicellular eukaryotes in marine ecosystem. They usually attach on the shallow sea seafloor, intertidal zone, rocks and animals and plants surface, as well as artificial facilities, and they may cause great harms to marine artificial engineering facilities as one of fouling organisms. Marine benthic diatoms attach on substrate surfaces by secreting extracellular polymeric substances. The growth and secretion of extracellular polymeric substances of benthic diatoms are significantly affected by light, temperature, salinity and nutrient. Benthic diatoms are sensitive to the changes of environmental factors. Different benthic diatom species have different growth characteristics, biochemical compositions, attachment forms, attachment substrate and control factors. At present, the research on the mechanism of marine benthic diatom attachment is limited, especially the relationship between attachment behavior and environmental factors and the physiological response is relatively weak. The study of the mechanism of the benthic diatom has important theoretical and practical significance for the study of marine benthic ecosystem and fouling organisms.

Two common marine benthic diatoms, *Achnanthes javanica* var. *subconstricta* (MMDL5271) and *Nitzschia closterium* (MMDL50319) isolated from Xiamen coastal waters were used in this study. We measured the content of intracellular protein and polysaccharide and the content of protein, polysaccharide, uronic acid and sulfate in different components of extracellular polymeric substances in different salinity, light intensity, nitrogen, and phosphorus and silicon concentration, and the adhesion ratio of two diatoms under the different conditions. The results show that the growth rate, Chl a content and polysaccharide and protein content of two diatoms could maximize when salinity was 30, light intensity was  $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ , concentrations of N, P, Si were 7.69, 0.65, 3.36 mg/L, respectively. It was advantageous for the extracellular polysaccharide under high light intensity  $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  and high N concentration 76.9 mg/L, and low P concentration 0.065 mg/L can stimulate the production of

intracellular polysaccharide, and high P concentration 6.5 mg/L was positive for the attachment of diatoms. The influences of environment conditions on productions of biochemical compositions were species specific. There were many differences between the two diatoms in attachment methods and adhesion ratio. *Achnanthes javanica* var. *subconstricta* attached by stalk, and the adhesion ratio maintained at a high level (30.36% - 32.96%) in the experiment. *Nitzschia closterium* directly attached by valve, and the adhesion ratio increased gradually as the cell density increase (from 1.14% to 6.24%). The adhesion ratio of the two diatoms was decreased obviously (*Achnanthes javanica* var. *subconstricta* 16.21%, *Nitzschia closterium* 3.51%) in late experiment. There was a positive correlation between the content of uronic acid in extracellular polymeric substances and the adhesion ratio in early experiment.

The result of the adhesion ratio of *Achnanthes javanica* var. *subconstricta* on three common building materials under different light conditions was polymethylmethacrylate > glass > stainless steel, full light shading > shading from bottom > no shading. The adhesion ratio of *Achnanthes javanica* var. *subconstricta* was higher on the hydrophobic substrate and in darkness, and bottom light generates an obvious inhibition on its attachment.

Key Words: benthic diatoms; growth conditions; biochemical compositions; adhesion ratio

## 1 前言

硅藻是海洋中分布最广泛的可进行光合作用的单细胞真核生物, 占据全球初级生产力的 25%, 是海洋中重要的生产者<sup>[1]</sup>。根据栖息状态的不同可将硅藻划分为浮游硅藻和底栖硅藻, 底栖硅藻通常生活在浅海底部、潮间带的泥沙滩、岩石和动植物表面以及各种人工设施上。底栖硅藻壳面形状多变, 生长形态各异, 能适应不同的生活环境。底栖硅藻的生长和附着行为受光照、水体温度、盐度、营养盐等的显著影响, 对环境因子的变化反应敏感, 因此被作为监测水质和环境污染的指示生物。

### 1.1 底栖硅藻概述

#### 1.1.1 硅藻的分类

硅藻是具有色素体的单细胞植物, 细胞壁富含硅质, 多数生活在海洋和淡水中, 少数种类分布于潮湿的泥土里。根据形态学的不同将硅藻分为中心纲和羽纹纲, 根据环境中含盐量的不同将硅藻划分为海水、半咸水和淡水三类<sup>[2]</sup>, 根据栖息状态的不同划分为浮游硅藻和底栖硅藻, 浮游硅藻无运动能力, 漂浮生活, 底栖硅藻有运动能力或固着生活<sup>[3]</sup>。但是这样的划分只是相对而言, 它们之间并无绝对的界限, 固着生活的硅藻可能由于风浪和潮汐从附着物上脱落营浮游生活, 浮游硅藻也可沉降到浅海底部或生活在潮间带。通常将营固着生活的硅藻称为附着硅藻。

#### 1.1.2 常见的附着硅藻及其生长形态

常见的附着硅藻有: 曲壳藻属(*Achnanthes*)、异极藻属(*Gomphonema*)、卵形藻属(*Cocconeis*)、舟形藻属(*Navicula*)、菱形藻属(*Nitzschia*)、双眉藻属(*Amphora*)、针杆藻属(*Synedra*) 和直链藻属(*Melosira*) 等<sup>[4-6]</sup>。

曲壳藻属细胞单独生活或相连成带, 具胶质柄附着。异极藻属细胞常生长在叉状分枝的胶质柄上营固着生活或包埋于胶质块里。卵形藻属细胞以其下壳贴附在他物上, 常以群体形式大量出现。舟形藻属细胞单独生活, 也有以胶质营、胶质块形成群体。菱形藻属细胞单独生活或相连成丝状, 也可形成密集的混乱群体。

双眉藻属细胞一般单独生活，或以胶质膜散乱地附在基质上。针杆藻属细胞单独生活或丛状着生在他物上，不呈带状。直链藻属细胞靠壳面相连成念珠状，细胞能分泌胶质，附生在海藻或其他物体上<sup>[3]</sup>。

## 1.2 硅藻附着机理研究进展

### 1.2.1 硅藻的附着方式

附着硅藻种类繁多，广泛分布于全球水体中，具有多种附着方式，大致可以分为以下 5 种：壳面附着、胶质垫附着（又称为壳端附着）、胶质柄附着、胶质管附着、胶质膜附着<sup>[4]</sup>（图 1.1）。

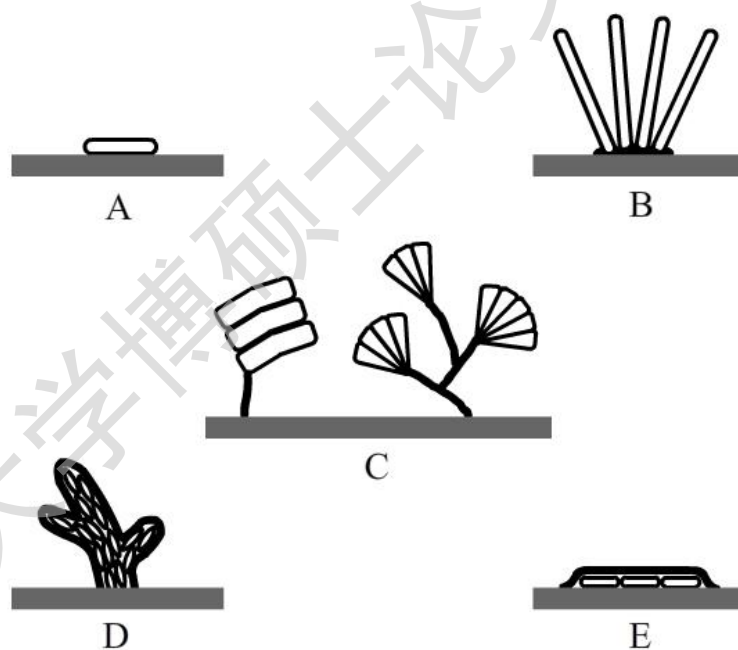


图 1.1 附着硅藻 5 种附着方式示意图

A.壳面附着, B.胶质垫附着, C.胶质柄附着, D.胶质管附着, E.胶质膜附着

Fig. 1.1 Schematic representation of five attached modes of diatoms.

A. attach by valve, B. attach by mucilage pad, C. attach by mucilage stalk,

D. attach by mucilage tube, E. attach by mucilage film

壳面附着和胶质膜附着的硅藻从壳缝或壳面真孔分泌胶质,使整个壳面贴附在基质表面,或在上爬行。由于附着面积大,重心低,所以能忍受较强烈的冲击。卵形藻属硅藻,如盾卵形藻 (*Cocconeis scutellum*)、假边卵形藻中型变种 (*Cocconeis pseudomarginata* var. *intermedia*) 和扁圆卵形藻椭圆变种 (*Cocconeis placentula* var. *euglypta*), 是常见的壳面附着硅藻。双眉藻以及一些舟形藻属硅藻常表现为胶质膜附着。

胶质垫附着的硅藻靠壳端顶孔和眼孔板分泌胶质,使细胞一端固着在基质上。当波浪冲击时会从附着基上脱落,随水流散布到适宜的地方生长。普通等片藻 (*Diatoma vulgare*)、尖针杆藻 (*Synedra acus*)、微小异极藻 (*Gomphonema parvulum*)、丝状舟形藻 (*Navicula confervacea*)、沃切里脆杆藻 (*Fragilaria vaucheriae*)、海生斑条藻 (*Grammatophora marina*) 等为胶质垫附着硅藻<sup>[7]</sup>。

胶质柄附着的硅藻从壳端顶孔分泌的胶质会形成一条长柄,柄的一端附在基质上,另一端连接以壳面相连的链状或扇形群体。橄榄形异极藻 (*Gomphonema olivaceum*)、扇形楔形藻 (*Licmophora flabellata*)、长柄曲壳藻 (*Achnanthes longipes*)、箱型桥弯藻 (*Cymbella cistula*)、单点条纹藻 (*Striatella unipunctata*) 等为胶质柄附着硅藻<sup>[7]</sup>。

胶质管附着的硅藻从环带缝合处<sup>[8]</sup>分泌胶质形成分支状或丝状的胶质管,生活在其中的个体或首尾相接,或壳面相连,并可在其中移动。橙红双肋藻 (*Amphipleura rutilans*) 是典型的胶质管附着硅藻<sup>[7]</sup>。

### 1.2.2 硅藻的附着基质

硅藻对附着基质的选择没有严格的特异性,但对于大多数附着硅藻来说,它们的生存环境是固定的,因此可根据附着基质的不同,将硅藻分为不同类型:生长在花岗岩、礁石和鹅卵石上的附石型硅藻 (epilithic diatom)<sup>[9]</sup>,生长在有机和无机沉积物上的附泥型硅藻 (epipellic diatom)<sup>[10]</sup>,生长在沙粒上的附沙型硅藻 (epipsammie diatom)<sup>[11]</sup>,生长在水生植物和大型藻类上的附植型硅藻 (epiphytic diatom)<sup>[12]</sup>和生长在水生动物上的附动型硅藻 (epizoic diatom)<sup>[13]</sup>。

附着硅藻长期生长在固定基质上,较浮游硅藻能更有效地反应该地区水体环境变化<sup>[11]</sup>。早在 20 世纪 70 年代,硅藻就已经被用来做水体质量评价的指示生物<sup>[14]</sup>,至今已有较完善的附着硅藻水质评价指数和监测方法,用来反映各种污染

物对水体长期、累积、综合的生态效应<sup>[15]</sup>。

附植型硅藻可附生在海藻<sup>[16]</sup>、海草<sup>[17]</sup>、拍岸浪草<sup>[18]</sup>、沉水植物<sup>[19]</sup>、浮游植物<sup>[20]</sup>和苔藓植物<sup>[21]</sup>及水生蕨类植物<sup>[22]</sup>上。海藻是附植型硅藻的常见宿主，不同海藻上硅藻的附着量不同，红藻最多，绿藻次之，褐藻最少<sup>[4]</sup>。通常硅藻对其附生的植物会产生不良影响，这是因为硅藻的大量附着会限制其宿主对光和营养物质的获取，但两者间不是寄生关系<sup>[23]</sup>，宿主植物在生长旺盛阶段具有抵御硅藻附着的能力<sup>[24]</sup>。

已知几种动物类群的体表附生有硅藻，如纤毛虫、海绵动物、水螅虫、软体动物、甲壳动物和脊椎动物<sup>[25]</sup>。附动型硅藻的最初发现要追溯至 19 世纪，Giesbrecht 观察到海洋浮游桡足类菱形大眼剑水蚤（*Corycaeus limbatus*）上存在有柄的硅藻<sup>[13]</sup>。动物体表复杂的生理结构为硅藻提供了良好的附着微环境，如海绵动物的骨针<sup>[26]</sup>、水螅虫的围鞘<sup>[27]</sup>、双壳贝类的壳面<sup>[28]</sup>和鲸鱼的皮肤<sup>[29]</sup>等。附动型硅藻与其宿主间的关系较为复杂，附生在动物宿主上的硅藻可以通过宿主的移动获得持续的营养、CO<sub>2</sub> 和宿主的代谢产物，同时宿主可以得到氧气供给。然而附生硅藻可能增加宿主的游动阻力，降低其躲避捕食者和获得食物的能力，且有可能影响其繁殖率<sup>[30,31]</sup>。

### 1.2.3 硅藻的附着过程

硅藻在基质上的附着可以分为三个过程：硅藻与基质的趋近及初步附着、硅藻在基质上的爬行、硅藻在基质上的不可逆附着<sup>[32]</sup>。

硅藻与基质的初次接触主要依靠水流、重力<sup>[33]</sup>、静电力<sup>[34]</sup>及范德华力<sup>[35]</sup>，硅藻自身的运动能力也有助于其与基质的接触<sup>[32]</sup>。硅藻与基质接触后会快速产生化学吸引力，从而完成硅藻在基质上的初步附着<sup>[33]</sup>。

硅藻与基质形成初步附着后，可在壳缝（包括拟壳缝和管壳缝）分泌的胞外多聚物（Extracellular Polymeric Substance, EPS）的作用下进行滑行<sup>[36]</sup>。硅藻细胞滑行是在肌动蛋白和阻凝蛋白的联合作用下实现的<sup>[37]</sup>，硅藻的滑行与基质表面粗糙度、微观拓扑结构及润滑性等相关<sup>[38]</sup>。滑行相当长的距离后，硅藻重新定位到适合生长的位置，分泌与爬行 EPS 成分不同的附着 EPS 实现深度的不可逆附着<sup>[39]</sup>。

研究表明硅藻在基质上的不可逆附着对于硅藻的繁殖是必要的<sup>[40]</sup>。以胶质



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库