



中国自然科学核心期刊 生物工程学报

《生物工程学报》· 1985年创刊
月刊· 每月25日出版



主管 / 中国科学院
主办 / 中国科学院微生物研究所 中国微生物学会
主编 / 杨胜利 院士
主任 / 陈宏宇
编辑 / 中国科学院微生物研究所 期刊联合编辑部
地址 / 北京朝阳区北辰西路1号院3号
中国科学院微生物研究所B401
邮编 / 100101

编辑部 / 电话: 010-64807509
E-mail: cjb@im.ac.cn

广告部 / 电话: 010-64806142
E-mail: gg@im.ac.cn

发行部 / 电话: 010-64806142
E-mail: bjb@im.ac.cn

传真 / 010-64807327

网址 / <http://journals.im.ac.cn/cjb.cn>

出版 / 科学出版社

印刷 / 北京科信印刷有限公司

总发行 / 中国邮政集团公司北京市报刊发行局

订购处 / 全国各地邮局

国外总发行 / 中国国际图书贸易集团有限公司

国外代号 / M5608

广告经营许可证 / 京朝工商广登字20170187号

邮发代号 / 82-13

每期定价 / 78.00元

ISSN 1000-3061

CN 11-1998/Q

版权声明

我联合编辑部编辑出版有《生物工程学报》、《微生物学报》、《菌物学报》和《微生物学通报》四种期刊, 凡向本编辑部投稿, 均视为同意在本编辑部网站及CNKI等全文数据库出版, 所付稿酬包含网络出版稿酬。本刊文责自负, 版权所有, 未经许可, 不得转载使用。

目录



Shengwu Gongcheng Xuebao

第33卷第9期 (总第225期)

2017年9月25日

序言

- 1351 Biofilm与c-di-GMP专刊序言——微生物的社会性、c-di-GMP调控及研究新技术
钱韦 马旅燕 谷立川 张炼辉

生物技术与新方法

- 1357 环二鸟苷单磷酸核糖开关的结构与功能
李新风 陈芳 肖金凤 何进
- 1369 c-di-AMP调控细菌生物被膜的形成
彭显 李继遥 徐欣
- 1376 鉴定cyclic di-GMP效应蛋白: 高通量筛选策略与实验验证方法
程寿廷 王芳芳 钱韦

新技术

- 1390 生物被膜的物理特性及其表征
甘田生 龚湘君
- 1399 原子力显微镜 (AFM) 在细菌生物被膜研究中的应用
杨闪闪 黄巧云 蔡鹏
- 1411 细菌显微追踪技术在生物被膜中的应用
张文超 张静超 赵坤

关于本刊

《生物工程学报》是由中国科协批准,中国科学院主管,中国科学院微生物研究所和中国微生物学会共同主办的综合性的学术刊物,系中国自然科学核心期刊。主要报道我国生命科学领域科学和技术的新进展和新成果,刊登的内容包括:基因工程、细胞工程、组织工程、酶工程、蛋白质工程、发酵工程、生物制药、生物反应器、基因芯片等各个方面,涉及工业、农业和医学等诸多领域。刊载的文章有70%以上是获“863”、“973”、国家自然科学基金资助或属“十二五”攻关及省部级重大项目的研究论文。本刊已被美国化学文摘 CA、美国医学索引IM/MEDLINE、俄罗斯文摘AJ、日本科学技术社数据库JST、波兰的哥白尼索引IC、荷兰Elsevier公司的Scopus文摘、荷兰医学文摘EMBASE、美国的乌利希期刊指南(网络版)(Ulrichsweb)等国际著名检索机构收录;国内则被中国知网CNKI、中国生物学文摘、中国生物医学文献数据库、中国科学引文数据库、中国科技期刊光盘版等几乎所有重要的检索机构收录。

《生物工程学报》2000年荣获中国科学院优秀期刊二等奖,2003、2005、2008年荣获中国科协优秀论文奖,2008年荣获“中国精品科技期刊”称号,2012和2013连续两年被评为“中国国际影响力优秀学术期刊”,2012年荣获“中国百种杰出学术期刊”称号,2014年入选300种“第3届中国精品科技期刊”,为“中国精品科技期刊顶尖学术论文(F5000)”项目来源期刊,2015年获得中国科协精品科技期刊学术质量提升项目资助,2015和2016年均荣获中国科学院科学出版基金科技期刊排行榜三等奖。

本刊虽然已连续数年在国内生物工程类期刊中排名第一,但成为最受欢迎、最具学术影响力的期刊是我们的目标。为此,我们将积极关注生物工程领域的最新研究动态,努力吸引更多优秀稿件。期待《生物工程学报》在大家的帮助下取得更大的进步。

1433 调节生物被膜化合物的研究进展

刘星宇 向绪稳 陶辉 崔紫宁 张炼辉

1466 环二鸟苷酸信号分子抑制剂的研究进展

向绪稳 刘星宇 陶辉 崔紫宁 张炼辉

医学生物技术

1478 乳酸锌和氟化亚锡对铜绿假单胞菌、鲍曼不动杆菌和变异链球菌生物被膜的抑制作用

于珊 张妙坤 马旅雁

1489 铜绿假单胞菌铁摄取与生物被膜形成研究进展

于珊 马旅雁

1513 鼠疫耶尔森氏菌环二鸟苷酸代谢及生物被膜形成调控研究进展

赵菊平 孙义成

1525 基于功能宏基因组学技术的金黄色葡萄球菌生物被膜抑制物的发现与活性分析

朱莹 柴树茂 曹明明 王绍琛 冯治洋

1533 霍乱弧菌生物被膜发育与环境调控

王全民 马遥 刘丽钧 朱军 刘智

1547 变形链球菌中的次级代谢产物及其在口腔生物被膜中的生态功能

谢周杰 张昭 刘力伟 柳孝晨 陈义华

1555 人类环境病原真菌——新生隐球菌的社会行为

丁浩 何光军 王琳淇

1567 白念珠菌生物被膜形成的遗传调控机制

郭东东 岳慧珍 魏羽佳 黄广华

环境生物技术

1582 黄色粘球菌基于复杂社会性细胞行为的生物被膜

王川东 王艳 郑悦 张坤梅 胡玮 施文元 李越中

1596 基于Lux型群体感应系统干预的生物被膜调控在污水处理中的研究进展与前景

赵畅 王宁 王文昭 徐期勇

1611 铜绿假单胞菌蹭行运动单细胞分析方法的建立及应用

倪磊 金震宇 杨帅 金帆

农业生物技术

1625 不动杆菌属中 $aidE$ 基因编码高丝氨酸内酯酶

刘春妍 郭松 艾力·吐热克 张俊威 张力群

1640 生物被膜在病原细菌与植物识别中的作用

宋丽阳 方荣祥 贾燕涛

Chinese Journal of Biotechnology

Monthly • Started in 1985

Administration / Chinese Academy of Sciences

Sponsored by / Institute of Microbiology,

Chinese Academy of Sciences;

Chinese Society for Microbiology

Editor-in-Chief / Shengli Yang

Director / Hongyu Chen

Edited by / United Editorial Office of the Journals
in the Institute of Microbiology, Chinese Academy of
Sciences

Address / B401, Institute of Microbiology,

Chinese Academy of Sciences,

No. 1 Beichen West Road, Chaoyang District, Beijing

100101, China

Tel: +86-10-64807509

Fax: +86-10-64807327

E-mail: cjb@im.ac.cn

<http://journals.im.ac.cn/cjbcn> (Chinese)

[http://www.sciencedirect.com/science/](http://www.sciencedirect.com/science/journal/18722075)

[journal/18722075](http://www.sciencedirect.com/science/journal/18722075) (English)

Published by / Science Press

Add: 16 Donghuangchenggen North Street,

Beijing 100717, China

Tel: +86-10-64034563

E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by / Beijing Kexin Printing Co., LTD

Oversea distributed by / China International Book
Trading

Copyright

© 2017 by the Institute of Microbiology, the Chinese
Academy of Sciences and the Chinese Society
for Microbiology

CONTENTS



Shengwu Gongcheng Xuebao

Vol. 33 No. 9 September 2017
25 September 2017

Preface

- 1351** Preface for special issue on biofilm and c-di-GMP—Microbial society, c-di-GMP regulation, and new research techniques

Wei Qian, Luyan Ma, Lichuan Gu, and Lianhui Zhang

Biotechnology and New Methods

- 1357** Structure and function of c-di-GMP riboswitches
Xinfeng Li, Fang Chen, Jinfeng Xiao, and Jin He
- 1369** c-di-AMP regulates bacterial biofilm formation
Xian Peng, Jiyao Li, and Xin Xu
- 1376** Identification of cyclic di-GMP protein receptors: high-throughput screening strategies and experimental verification
Shouting Cheng, Fangfang Wang, and Wei Qian

New Technologies

- 1390** Characterization of the physical properties of biofilms
Tiansheng Gan, and Xiangjun Gong
- 1399** Application of atomic force microscopy (AFM) to study bacterial biofilms
Shanshan Yang, Qiaoyun Huang, and Peng Cai
- 1411** Application of bacterial tracking techniques in biofilms
Wenchao Zhang, Jingchao Zhang, and Kun Zhao
- 1433** Chemical agents modulating bacterial biofilm formation and development
Xingyu Liu, Xuwen Xiang, Hui Tao, Zining Cui, and Lianhui Zhang

About

Founded in 1985, Chinese Journal of Biotechnology is the official journal of the Institute of Microbiology, the Chinese Academy of Sciences and the Chinese Society for Microbiology. Chinese Journal of Biotechnology is an international, peer-reviewed journal that publishes original papers and reviews on all aspects of Biotechnology, such as genetic engineering, cell engineering, enzyme engineering, biochemical engineering, tissue engineering, biochips, bioinformatics, bioreactor, and so on. The journal is indexed/abstracted in various important citation resources such as Chemistry Abstracts, MEDLINE/PubMed, AJ of Vinit, JST, Scopus, Center for Agriculture and Bioscience International, EMBASE, Ulrichweb, CNKI, Chinese Biological Digest, CBM, Chinese Scientific Quotation Database (Web amp; CD), Chinese Science and Technological Periodical (CD).

Aimed at promoting the scientific exchanges between China and other parts of the world, Chinese Journal of Biotechnology has cooperated with Elsevier to publish online English edition from 2006 to 2008 ([http:// www. sciencedirect.com/science/journal/18722075](http://www.sciencedirect.com/science/journal/18722075)). The online English edition, launched on the ScienceDirect, provides original English papers and some translated articles selected from the corresponding issue of Chinese edition.

We welcome submissions from all over the world. Please feel free to contact us (Tel: +86-10-64807509; E-mail: cjb@im.ac.cn).

扫描二维码，关注
《生物工程学报》微信
公众号，获得最新投
稿信息及阅读体验。



1466 Progress in c-di-GMP inhibitors

Xuwen Xiang, Xingyu Liu, Hui Tao, Zining Cui, and Lianhui Zhang

Medical Biotechnology

1478 Anti-biofilm effects of Zn lactate•3H₂O and SnF₂ on *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii* and *Streptococcus mutans*

Shan Yu, Miaokun Zhang, and Luyan Ma

1489 Iron uptake and biofilm formation in *Pseudomonas aeruginosa*

Shan Yu, and Luyan Ma

1513 Regulation of c-di-GMP metabolism and biofilm formation in *Yersinia pestis*

Juping Zhao, and Yicheng Sun

1525 Discovery and analysis of *Staphylococcus aureus* biofilm inhibitors using functional metagenomics approach

Ying Zhu, Shumao Chai, Mingming Cao, Shaochen Wang, and Zhiyang Feng

1533 Biofilm development and environmental determinants in *Vibrio cholerae*

Quanmin Wang, Yao Ma, Lijun Liu, Jun Zhu, and Zhi Liu

1547 Secondary metabolites from *Streptococcus mutans* and their ecological roles in dental biofilm

Zhoujie Xie, Zhao Zhang, Liwei Liu, Xiaochen Liu, and Yihua Chen

1555 Party for killing: the social behaviors in *Cryptococcus neoformans*

Hao Ding, Guangjun He, and Linqi Wang

1567 Genetic regulatory mechanisms of *Candida albicans* biofilm formation

Dongdong Guo, Huizhen Yue, Yujia Wei, and Guanghua Huang

Environmental Biotechnology

1582 Biofilm formation dominated by sophisticated social behaviors in *Myxococcus xanthus*

Chuandong Wang, Yan Wang, Yue Zheng, Kunmei Zhang, Wei Hu, Wenyuan Shi, and Yuezhong Li

1596 Wastewater treatment based on biofilm regulation by Lux type quorum sensing system—a review

Chang Zhao, Ning Wang, Wenzhao Wang, and Qiyong Xu

1611 Single-cell analysis method for twitching motility of *Pseudomonas aeruginosa*

Lei Ni, Zhenyu Jin, Shuai Yang, and Fan Jin

Agricultural Biotechnology

1625 *AidE* encodes an *N*-acyl homoserine lactonase in *Acinetobacter*

Chunyan Liu, Song Guo, Ali Turak, Junwei Zhang, and Liqun Zhang

1640 Function of biofilms in phytopathogenic bacterial-host interactions

Liyang Song, Rongxiang Fang, and Yantao Jia

主 编 / 杨胜利 院 士 中国科学院上海生物工程研究中心

副主编 / (以姓名拼音排序)

陈国强 教 授 清华大学

陈焕春 院 士 华中农业大学

陈受宜 研究员 中国科学院遗传与发育生物学研究所

邓子新 院 士 武汉大学

方荣祥 院 士 中国科学院微生物研究所

高 福 院 士 中国科学院微生物研究所

李 寅 研究员 中国科学院微生物研究所

沈倍奋 院 士 军事医学科学院基础医学研究所

编 委 / (以姓名拼音排序, 带*为常务编委)

白凤武 大连理工大学

曹谊林 上海交通大学医学院附属第九人民医院

陈洪章 中国科学院过程工程研究所

陈 坚 江南大学

陈 林 第三军医大学大坪医院

陈苏民* 第四军医大学

陈 薇 军事医学科学院生物工程研究所

陈晓亚 中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所

陈晓英 中国科学院微生物研究所

戴和平 中国科学院水生生物研究所

邓初夏 National Institutes of Health, USA

堵国成 江南大学

方福德* 中国医学科学院基础医学研究所

高友鹤 北京师范大学

郭 宁 军事医学科学院基础医学研究所

江 宁 中国科学院微生物研究所

姜里文 香港中文大学

姜 岷 南京工业大学

金 城 中国科学院微生物研究所

金冬雁 香港大学

景蕊莲 中国农业科学院作物科学研究所

李 凝 香港科技大学

李 震 上海市农业科学院畜牧兽医研究所

刘德华 清华大学

刘文军 中国科学院微生物研究所

刘湘涛 中国农业科学院兰州兽医研究所

刘玉乐 清华大学

马清钧* 军事医学科学院生物工程研究所

马延和 中国科学院微生物研究所

裴雪涛 军事医学科学院野战输血研究所

彭景榘* 中国科学院动物研究所

祁庆生 山东大学

仇华吉* 中国农业科学院哈尔滨兽医研究所

邵蔚蓝 江苏大学

司书毅 中国医学科学院医药生物技术研究所

唐双焱 中国科学院微生物研究所

陶 勇 中国科学院微生物研究所

田季德 University of California Los Angeles, USA.

童光志 中国农业科学院上海兽医研究所

王 骏 香港中文大学

王钦宏 中国科学院天津工业生物技术研究所

王彦昶 Florida State University

吴文平 诺维信中国研发中心

肖亚中 安徽大学

邢建民 中国科学院过程工程研究所

荀鲁盈 Washington State University

杨克迁 中国科学院微生物研究所

杨立荣 浙江大学

杨 晟 中国科学院上海生命科学研究院

杨 晓 军事医学科学院生物工程研究所

张惠展 华东理工大学

张 杰 中国农业科学院植物保护研究所

张志芳 中国农业科学院生物技术研究所

张智清 中国疾病预防控制中心病毒病预防控制所

赵学明 天津大学

郑 平 浙江大学

郑世军 中国农业大学

周春燕 北京大学医学部

周集中 University of Oklahoma, USA

周 琪 中国科学院动物研究所

朱敦明 中国科学院天津工业生物技术研究所

朱旭东 北京师范大学

朱 阳 Netherlands Organization for Applied Scientific Research

祝庆余 军事医学科学院微生物流行病学研究所

庄英萍 华东理工大学

编 辑 / 陈宏宇 郝丽芳

Editor-in-Chief / Shengli Yang Shanghai Research Center of Biotechnology, CAS, China.

Associate editors / (alphabetically)

Guoqiang Chen Tsinghua University, China.

Huanchun Chen Huazhong Agricultural University, China.

Shouyi Chen Institute of Genetics and Developmental Biology, CAS, China.

Zixin Deng Wuhan University, China.

Rongxiang Fang Institute of Microbiology, CAS, China.

George F. Gao Institute of Microbiology, CAS, China.

Yin Li Institute of Microbiology, CAS, China.

Beifen Shen Institute of Basic Medical Sciences, AMMS, China.

Board members (alphabetically, *standing members)

Fengwu Bai
Dalian University of Technology, China.

Yilin Cao
Shanghai Jiao Tong University, China.

Hongzhang Chen
Institute of Process Engineering, CAS, China.

Jian Chen
Jiangnan University, China.

Lin Chen
Third Military Medical University, China.

Sumin Chen*
Fourth Military Medical University, China.

Wei Chen
Institute of Biotechnology, AMMS, China.

Xiaoya Chen
Institute of Plant Physiology and Ecology, CAS, China.

Xiaoying Chen
Institute of Microbiology, CAS, China.

Heping Dai
Institute of Hydrobiology, CAS, China.

Chuxia Deng
National Institutes of Health, USA.

Guocheng Du
Jiangnan University, China.

Fude Fang
Institute of Basic Medical Sciences, CAMS, China.

Youhe Gao
Beijing Normal University, China.

Ning Guo
Institute of Basic Medical Sciences, AMMS, China.

Ning Jiang
Institute of Microbiology, CAS, China.

Liwen Jiang
The Chinese University of Hong Kong, China.

Min Jiang
Nanjing University of Technology, China.

Cheng Jin
Institute of Microbiology, CAS, China.

Dongyan Jin
The University of Hong Kong, China.

Ruilian Jing
Institute of Crop Sciences, CAAS, China.

Ning Li
The Hong Kong University of Science and Technology, China.

Zhen Li
Animal Husbandry and Veterinary Research Institute, SAAS, China.

Dehua Liu
Tsinghua University, China.

Wenjun Liu
Institute of Microbiology, CAS, China.

Xiangtao Liu
Lanzhou Veterinary Research Institute, CAAS, China.

Yule Liu
Tsinghua University, China.

Qingjun Ma*
Institute of Biotechnology, AMMS, China.

Yanhe Ma
Institute of Microbiology, CAS, China.

Xuetao Pei
Institute of Blood Transfusion, AMMS, China.

Jingpian Peng*
Institute of Zoology, CAS, China.

Qingsheng Qi
Shandong University, China.

Huaji Qiu*
Harbin Veterinary Research Institute, CAAS, China.

Weilan Shao
Jiangsu University, China.

Shuyi Si
Institute of Medical Biotechnology, CAMS, China.

Shuangyan Tang
Institute of Microbiology, CAS, China.

Yong Tao
Institute of Microbiology, CAS, China.

Jide Tian
UCLA, USA.

Guangzhi Tong
Shanghai Veterinary Research Institute, CAAS, China.

Jun Wang
The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, China.

Qinhong Wang
Tianjin Institute of Industrial Biotechnology, CAS, China.

Yanchang Wang
Florida State University, USA.

Wenping Wu
Novozymes China.

Yazhong Xiao
Anhui University, China.

Jianmin Xing
Institute of Process Engineering, CAS, China.

Luying Xun
Washington State University, USA.

Keqian Yang
Institute of Microbiology, CAS, China.

Lirong Yang
Zhejiang University, China.

Sheng Yang
Shanghai Institutes for Biological Sciences, CAS, China.

Xiao Yang
Institute of Biotechnology, AMMS, China.

Huizhan Zhang
East China University of Science and Technology, China.

Jie Zhang
Institute of Plant Protection, CAAS, China.

Zhifang Zhang
Biotechnology Research Institute, CAAS, China.

Zhiqing Zhang
Institute of Virology, CAPM, China.

Xueming Zhao
Tianjin University, China.

Ping Zheng
Zhejiang University, China.

Shijun Zheng
China Agricultural University, China.

Chunyan Zhou
Peking University Health Science Center, China.

Jizhong Zhou
University of Oklahoma, USA.

Qi Zhou
Institute of Zoology, CAS, China.

Dunming Zhu
Tianjin Institute of Industrial Biotechnology, CAS, China.

Xudong Zhu
Beijing Normal University, China.

Yang Zhu
Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO), Netherlands.

Qingyu Zhu
Institute of Microbiology and Epidemiology, AMMS, China.

Yingping Zhuang
East China University of Science and Technology, China.