



# 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/cjbcn>

**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** / 京朝工商广字第8154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。

## 目次



第33卷第2期 (总第218期)

2017年2月25日

## 特邀综述

- 161 基因沉默技术在抗真菌病害中的应用和展望**  
金芸 张涛 郭惠珊

## 综述

- 170 数字PCR技术及应用研究进展**  
林佳琪 苏国成 苏文金 周常义
- 178 植物内生菌生物抗菌活性物质研究进展**  
黄敬瑜 张楚军 姚瑜龙 高旭 侯梓淇 张露 李欧
- 187 IL28B基因在乙型肝炎病毒感染中的作用**  
张成林 宋玉竹 马玉梅 张阿梅
- 196 红树植物秋茄分子生物学研究进展**  
杜照奎 陈河 李钧敏
- 205 猪流行性腹泻病毒反向遗传操作技术及其应用于瑞嵩 董世娟 司伏生 蒋凤英 谢春芳 陈冰清 喻利 李震**

## 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。

## 动物及兽医生物技术

### 217 猪O型口蹄疫病毒细菌样颗粒疫苗的制备与免疫原性鉴定

侯立婷 陈瑾 乔绪稳 于晓明 侯继波 郑其升 李槿年

## 工业生物技术

### 228 代谢工程改造酿酒酵母合成葡萄糖二酸

巩旭 刘叶 王磊 李江华 康振

### 237 热带假丝酵母*ctpxa1*基因缺失菌的构建及对长链二元酸积累的影响

程成 汪俊卿 王腾飞 杨晓慧 王瑞明

### 247 代谢工程改造甘油代谢途径提高 $\beta$ -胡萝卜素产量

董悦 胡坤乐 李兴林 李清艳 张学礼

## 农业生物技术

### 261 家蚕EGFR配体的鉴定和验证

王菲 董世峰 宋亮 夏庆友

### 272 美洲商陆毛状根诱导及其离体培养的影响因素

施和平 朱远锋 曾宝强 周卓辉 余震傲 黄胜琴

## 组织工程与细胞培养

### 284 利用CRISPR/Cas9n double nick系统构建人DNAH2基因敲除的U2OS细胞株

常丽贤 孙聪聪 陈晓娟 杨文钰 张家源 张英弛 袁卫平 竺晓凡

### 294 三种细胞共培养微流控芯片的设计和制作

王帅超 葛玉卿 吴蕾 郭慧 杨仕平 金庆辉

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](mailto: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](mailto: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



Vol. 33 No. 2 February 2017  
25 February 2017

## Invited review

- 161** Application of host induced gene silencing in crop protection against fungal diseases

Yun Jin, Tao Zhang, and Huishan Guo

## Reviews

- 170** Progress in digital PCR technology and application

Jiaqi Lin, Guocheng Su, Wenjin Su, and Changyi Zhou

- 178** Progress in antimicrobial substances of endophytes

Jingyu Huang, Chujun Zhang, Yulong Yao, Xu Gao, Ziqi Hou, Lu Zhang, and Ou Li

- 187** Function of the *IL28B* gene in Hepatitis B virus infection

Chenglin Zhang, Yuzhu Song, Yumei Ma, and A'mei Zhang

- 196** Advances in molecular biological studies of the mangrove *Kandelia obovata* Sheue, Liu & Yong

Zhaokui Du, He Chen, and Junmin Li

- 205** Advances in reverse genetics to treat porcine epidemic diarrhea virus

Ruisong Yu, Shijuan Dong, Fusheng Si, Fengying Jiang, Chunfang Xie, Bingqing Chen, Li Yu, and Zhen Li

## 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 Viniti, JST, Scopus, Center for Agriculture and Bioscience International, EMBASE, Ulrichsweb, 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>). 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](mailto:cjb@im.ac.cn)).

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



## Animal and Veterinary Biotechnology

### 217 Design and immunogenicity evaluation for the bacteria-like particle vaccine against swine type O foot-and-mouth disease virus

Liting Hou, Jin Chen, Xuwen Qiao, Xiaoming Yu, Jibo Hou, Qisheng Zheng, and Jinnian Li

## Industrial Biotechnology

### 228 Metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for production of glucaric acid

Xu Gong, Ye Liu, Cui Wang, Jianghua Li, and Zhen Kang

### 237 Effect of *ctpxa1* gene deletion in *Candida tropicalis* on long chain dicarboxylic acid accumulation

Cheng Cheng, Junqing Wang, Tengfei Wang, Xiaohui Yang, and Ruiming Wang

### 247 Improving $\beta$ -carotene production in *Escherichia coli* by metabolic engineering of glycerol utilization pathway

Yue Dong, Kunle Hu, Xinglin Li, Qingyan Li, and Xueli Zhang

## Agricultural Biotechnology

### 261 Identification and characterization of epidermal growth factor receptor ligands in *Bombyx mori*

Fei Wang, Shifeng Dong, Liang Song, and Qingyou Xia

### 272 Factors influencing induction and *in vitro* culture of hairy roots in *Phytolacca americana* L.

Heping Shi, Yuanfeng Zhu, Po Keung Eric Tsang, Cheuk Fai Stephen Chow, Zhen'ao Yu, and Shengqin Huang

## Tissue Engineering and Cell Cultivation

### 284 Knocking out of human *DNAH2* gene in U2OS cells by CRISPR/Cas9n double nick system

Lixian Chang, Congcong Sun, Xiaojuan Chen, Wenyu Yang, Jiayuan Zhang, Yingchi Zhang, Weiping Yuan, and Xiaofan Zhu

### 294 Design and fabrication of a microfluidic chip for the co-culture of three cell types

Shuaichao Wang, Yuqing Ge, Lei Wu, Hui Guo, Shiping Yang, and Qinghui Jin

**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.

董光志 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.