

# 科研团队破解细菌信号“解码”新机制

## 开辟定量合成生物学全新设计维度



9月15日,中国科学院深圳先进技术研究院定量合成生物学全国重点实验室金帆团队联合中国科学院成都文献情报中心杨帅团队在国际期刊《自然物理》发表最新研究成果,首次破解了细菌频率调制(FM)信号处理的物理密码。研究发现,在三基因调控系统中,频率调制可比传统振幅调制提升约2个比特的信息熵,从而实现对多基因系统的精确协调控制。

这是定量合成生物学全国重点实验室继今年3月揭示细菌信号“编码”规律后,在“解码”机制研究方面取得的又一重要突破。研究显著提升了人工生命系统的理性设计能力,为合成生物学开辟了全新的设计维度。

### 打破传统策略, 工程化破解频率解码机制

当前,合成生物学面临一项核心挑战:如何仿效自然界实现多个基因的精确协调控制?现有调控方法大多基于“振幅调制”,即调节信号强度来操控基因表达。然而,自然界中普遍存在的振荡现象——从细胞内的钙离子振荡到转录因子的脉冲动态——表明“频率调制”可能是一种更加高效的信息编码方式。

“就像收音机可以通过调频(FM)获得比调幅(AM)更清晰的信号一样,细菌也可能利用频率调制来实现更精细的基因调控。”论文通讯作者金帆表示,“但细菌究竟是如何‘解码’这些频率信号的,一直是领域内未解的难题。”

研究团队采用合成生物学工程化手段,通过基因编辑技术在铜绿假单胞菌中重构了简化的细菌信号分子环磷酸腺苷(cAMP)信号传递通路,并巧妙利用光控合成系统替代内源性cAMP合成机制,用

组成型启动子替代天然的反馈调节系统,成功构建出可精确控制和定量监测的“频率解码cAMP电路”(FDCC)。

“这就像是为细菌安装了一个可编程的‘信号接收器’。”论文共同通讯作者杨帅解释道,“我们可以精确控制输入什么样的频率信号,然后观察细菌是如何‘理解’和‘响应’这些信号的。”

通过严格的时间尺度分析,研究团队发现FDCC系统天然呈现三个功能明确的模块:“波形转换器”负责将周期性光刺激转化为cAMP的锯齿波浓度变化;“阈值滤波器”借助分子间的协同结合,实现对不同频率信号的选择性过滤;“积分器”则将动态频率信息转化为稳态的蛋白表达水平。该分层架构的精妙设计,在于每一模块均在自己的“最佳工作频率”区间运行,三者协同运作实现了从频率到振幅的完美转换。



### 大设施赋能, 频率调制实现信息熵跃升

数学分析发现,关键的无量纲参数如同“频率开关”,控制着系统优先传递高频或低频信号。值得注意的是,该理论预测与实验数据相关性达99.2%,这一精度在复杂生物系统的研究中尤为难得。

依托深圳合成生物研究重大科技设施的自动化实验平台,研究团队首次以精准的定量数据,揭示了频率调制的显著优势。自动化实验平台集成可编程光信号控制、细菌培养摇动、自动化溶液处理和荧光测量四个核心功能模块,能够并行处理大量实验样本,并对每个独立样本进行不同

参数的光调控。在超过12小时的长时间实验中,该平台表现出优异的稳定性和重现性,96个平行样本的检测指标波动极小,高通量、自动化的实验能力为系统性验证提供了关键保障。

通过对大量数据的系统分析,团队发现频率调制可极大提升细菌的信息处理能力。“这意味着通过频率调制,细菌的信息处理能力从‘单车道’变成了‘多车道’,能够精确控制更多基因的表达,最终实现更复杂、更精细的生物功能。”金帆解释道。“频率调制以更简洁的遗传结构,为合成生物学带来了更精准、更复杂

的调控新维度,将显著提升代谢工程中多通路协调优化与细胞治疗中响应性设计的能力。”

据团队介绍,定量合成生物学全国重点实验室聚焦世界科技前沿,围绕生命功能涌现性原理,建立起定量合成生物学底层理论框架。目前,团队依托深圳合成生物研究重大科技基础设施系统构建了“定量解析、理性设计、自动构建”全链条创新体系。该设施实现了从菌株设计、构建、测试到学习的工程化闭环,显著提升了合成生物底盘菌株的研发与筛选效率。

本报记者 刘肖勇 通讯员 刁雯蕙 本文图片由通讯员提供

遗失声明:张丽波于2025年9月11日不慎遗失身份证件,证号:350624199507123523,现声明作废。  
遗失声明:林龙金于2025年9月11日不慎遗失身份证件,证号:4452241979197902200351,现声明作废。  
遗失声明:李常运于2025年9月8日不慎遗失身份证件,证号:452126198807080963,现声明作废。  
遗失声明:黄嘉宜于2025年9月14日不慎遗失身份证件,证号:440514200708202323,现声明作废。  
遗失声明:罗昌勇于2025年9月1日不慎遗失身份证件,证号:451229200402272733,现声明作废。  
遗失声明:邵宇超于2025年9月10日不慎遗失身份证件,证号:412727200104105118,现声明作废。  
遗失声明:丁海林于2025年9月1日不慎遗失身份证件,证号:32062219701145991,现声明作废。  
遗失声明:谢文良于2025年9月15日不慎遗失身份证件,证号:441621200502012719,现声明作废。  
遗失声明:卢嘉颖于2025年9月15日不慎遗失身份证件,证号:441900200610226188,现声明作废。  
遗失声明:刘翼生于2025年8月15日不慎遗失身份证件,证号:441052199501281618,现声明

作废。  
遗失声明:李茂雪于2025年9月15日不慎遗失身份证件,证号:422322196403093216,现声明作废。  
遗失声明:阳新华于2025年8月21日不慎遗失身份证件,证号:430425196508300394,现声明作废。  
遗失声明:吴星茹于2025年9月15日不慎遗失身份证件,证号:44080320050321394X,现声明作废。  
遗失声明:黄振英于2025年9月16日不慎遗失身份证件,证号:450881200510016830,现声明作废。  
遗失声明:广东省阳江市阳西县何思媛于2025年9月16日不慎遗失身份证件,证号:441721200608200043,现声明作废。  
遗失声明:本人蔡晓琳于2025年8月18日后不慎遗失身份证件,证号:441323199410108562,现声明作废。  
梁振英于2025年9月13日不慎遗失身份证件,证号:452201196407171224,现声明作废。  
陈海波于2025年3月15日不慎遗失身份证,证号:440823199305282717,本人已申领新证,原证已失效,特此声明。  
杨丽萍身份证遗失,证号:440882199407039128,2025年9月13日丢失,丢失日起不承担被人冒用而引发的一切法律责任,特此声明。  
刘德森,2025年9月2日因保管不善遗失广东

省司法厅2024年3月6日颁发的律师执业证书,律师执业证书号:14406202010229675,执业证书流水号:11923096,现声明作废。  
刘洋遗失军官证,证号:1066257,声明作废。  
赖惠环遗失《医师资格考试报名暨授予医师资格申请表》,编号:442121000284,现声明作废。  
卢玉平遗失特种设备安全管理证书,档案编号:440183198204025221,证书编号:440183198204025221,声明作废。  
甄源慧,身份证号码:440722196906236710,本人不慎遗失执业助理医师执业证书原件一本,编号:2104407000000313,现声明作废。  
广东坚朗建材销售有限公司编号为B202400078的购销合同于2024年9月在东莞遗失,特此声明。  
遗失声明:郭积强、阮诗洁于2017年2月4日开具的购房西山区花园里26栋902号房购房订金收据一张,号码:6029842,金额:20000元;2017年12月5日开具的购房订金收据一张,号码:6029843,金额:40000元;2017年12月5日开具的购房首期款收据一张,号码:6029844,金额:64330元;2017年12月5日开具的购房首期款收据一张,号码:6029845,金额:41838元;2017年12月5日开具的购房首期款收据一张,号码:6029846,金额:42元;2017年12月5日开具的代收办证费用收据一张,号码:6029847,金额:14993元,现声明作废。声明人:郭积强、阮

诗洁,2025年9月19日。  
广州旭晶物业管理有限公司遗失广州市登峰实业集团有限公司开具的收款收据一张,收据编号:LYBZJ00115(金额:8500元),声明作废。  
高州市胡佬世家遗失高州市潘州广场4013号商铺租赁合同(合同编号:PZGC-ZL-4F4013)、物业管理服务合同(合同编号:PZGC-WY-4F4013)、物业管理费保证金收据(收据号:0006737,金额:14354元)、水电保证金收据(收据号:0006738,金额5000元)、租金保证金收据(收据号:0006740,金额16744元),声明作废。  
周正杰遗失广州市登峰实业集团有限公司开具的收款收据一张,收据编号:JT00000482(金额:18600元),声明作废。  
广东省汕头市潮阳区海门镇镇泰小区地下车库车位228收款收据遗失,特此声明。  
遗失声明:陈俊龙遗失珠海市市场经营集团有限公司开具的电子秤收据,金额500元整(伍佰元整),押金单号:NO.0000397,声明作废。  
广州开林家具制造有限公司工会委员会遗失中国工商银行股份有限公司广州太和支行基本户开户许可证1份,核准号:J5810064548601,声明作废。  
广州木星广告有限公司遗失公章(编号:4401150409026)一枚,现声明作废。  
广州木星广告有限公司遗失财务章(编号:4401150409027)一枚,现声明作废。  
江门光明眼科医院工会委员会不慎遗失工会法人资格证书,统一社会信用代码:

81440703MC8368153C,声明作废。  
东莞市兆鼎金属有限公司遗失财务章、公章各一枚,现声明作废。  
惠州市欣洋电子材料有限公司(统一社会信用代码:91441322MA559CU462)遗失发票章一枚,现声明作废。  
佛山市康杰医药有限公司遗失法人私章(姓名:方俊杰,编号:4406051599943)、发票章(编号:4406051599941)各一枚,声明作废。  
遗失声明:我公司“广州市诺思丝纺织用品有限公司”,因客户不慎遗失“广州鑫悦国际货运代理有限公司”三份正本提单,单号:GZGT25060652,特此声明作废。  
广州番信国际旅行社有限公司遗失旅行社业务经营许可证副本,编号:L-GD00997,声明作废。  
中山市宸宇投资发展有限公司拟变更法定代表人公告,原法人陈鹏多次联系未果,影响业务进展,2025年9月3日经股东会决议,变更法人人为谭伟林。

**跑政通:**

全国登报、公证认证、公众号迁移、AAA信用认证、企业信用修复、律师函代发、翻译、正规备案印章,一站式线上办理,咨询热线:4001081766、17364579989