

产品手册 2021

2021.11.01

# 单细胞分析仪器系列

公司名称：青岛星赛生物科技有限公司

地址：青岛市崂山区松岭路

电话：+86-532-80662650

电子邮箱：service@singlecellbiotech.com



青岛星赛生物科技有限公司  
Qingdao Single-Cell Biotech. Co., Ltd.

## 公司简介

星赛生物专注于单细胞分析仪器与配套试剂耗材的研发、生产、销售及相关技术服务，致力于打造国产高精尖生命科学仪器品牌，竭诚为客户提供原创、一体化、全方位的“单细胞代谢成像-分选-测序-培养”解决方案。公司产品服务于临床精准用药、人体与环境微生物、生物资源挖掘、细胞工厂筛选、工业过程监控、生物安全等广阔领域。

公司网址：[www.singlecellbiotech.com](http://www.singlecellbiotech.com)

基于首创的拉曼组、元拉曼组等原理和RAGE、pDEP-RACS等一系列原创性核心器件，公司推出RACS-Seq®单细胞拉曼分选-测序耦合系统，在世界范围内首次实现了菌群单细胞功能检测、分选、测序与培养等流程的一站式串联，化繁为简地克服了单个细胞拉曼分离可靠性低、核酸扩增容易污染、全基因组测序覆盖度不均等关键技术难点。

公司产品还包括服务“临床药敏快检”的CAST-R™（临床单细胞拉曼药敏快检仪），满足自动化需求的FlowRACS®（高通量流式拉曼分选仪），便携式EasySort®（单细胞微液滴分选系统）等。

依托于中国科学院青岛生物能源与过程研究所单细胞中心的技术团队，公司与国内外数十家科研院所和企业形成紧密合作。秉承“坚持原创•服务社会”的核心理念，我们将力争引领单细胞组学原创研究和自主创新，以全方位的优质服务和崭新的企业形象竭诚为客户提供单细胞功能成像、分选、测序、培养等相关产品及技术服务。



临床单细胞拉曼药敏快检仪  
CAST-R™

单细胞拉曼分选-测序耦合系统  
RACS-Seq®

高通量流式拉曼分选仪  
FlowRACS®

单细胞微液滴分选系统  
EasySort®

应用案例  
Application

相关论文  
References

03

05

07

09

11

12

## CAST-R™ 临床单细胞拉曼药敏快检仪

CAST-R™是专门针对临床样品的病原鉴定、药敏性表型测量及耐药基因解析研发的一体化装备，包括临床型（CAST-R™ Mini）、科研型（CAST-R™ Pro）。

基于**重水饲喂单细胞拉曼光谱技术**，不需分离培养而直接鉴定病原种类，并测量基于代谢活性抑制的药敏性表型组（及其在细胞之间的异质性），大大缩短临床致病菌感染的诊断时间，全流程可在**3小时内**完成，仅为目前检测时长的1/10。

CAST-R™ Pro 是 CAST-R™ Mini 的升级版，可分选耐药单细胞，并完成低偏好性、高覆盖度、与耐药表型关联的单细胞基因组扩增。

- 世界上首台基于拉曼光谱的药敏检测仪器
- 药敏检测时间缩短至十分之一（缩短到3小时）
- 病原鉴定、耐药识别与机制研究“多管齐下”
- 获国家重大科学仪器研制项目支持



Tao Y, et al., Metabolic-activity-based assessment of antimicrobial effects by D<sub>2</sub>O-labeled single-cell Raman microspectroscopy. *Anal Chem*, 2017. 89(7): 4108-4115

### 应用场景

针对血流感染、泌尿系统、呼吸道感染等临床检验

★胃粘膜样品★ 幽门螺旋杆菌（分离株）  
传统方法：3-7天  
CAST-R™：8小时



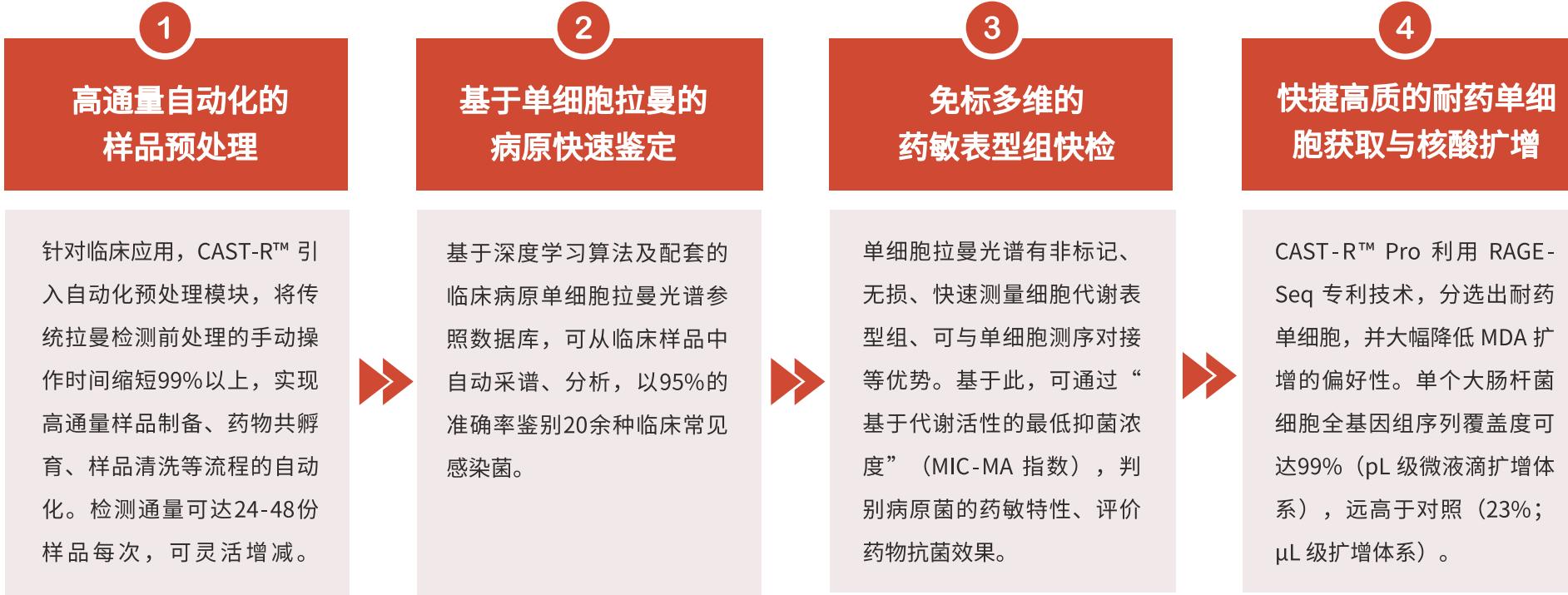
★尿液样品★  
大肠杆菌等  
传统方法：1-2天  
CAST-R™：3小时

★血培养报阳样品★  
鲍曼不动杆菌等  
传统方法：1-2天  
CAST-R™：3小时

★肺泡灌洗液样品★  
结核分枝杆菌（分离株）  
传统方法：4-13天  
CAST-R™：24小时

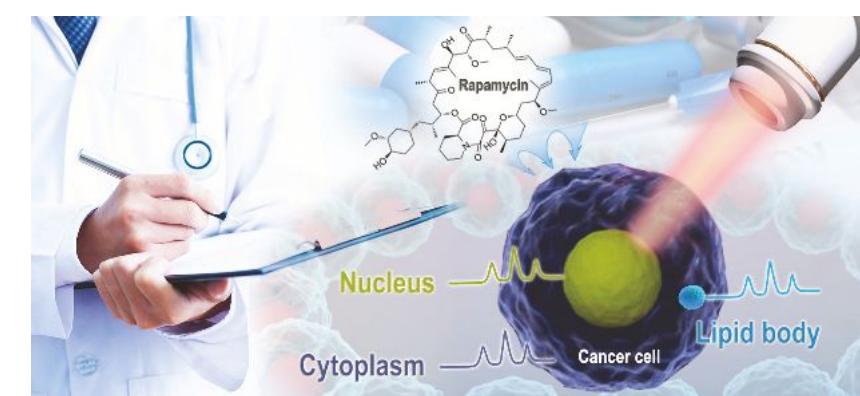
★拭子样品★  
真菌（分离株）  
传统方法：1-2天  
CAST-R™：4小时

广泛适用于细菌、古菌和真菌细胞，也适用于人体、动物、高等植物和藻类细胞



### 针对肿瘤药敏快检

基于CAST-R™的肿瘤单细胞药敏检测新技术（D<sub>2</sub>O-CANST-R），特异性地基于“代谢抑制”检测肿瘤药敏性，可在单个细胞器的分辨精度揭示药物作用机制，服务于抗癌药物的机制研究和筛选，以及新药研发。



Hekmatara M, et al., D<sub>2</sub>O-probed Raman microspectroscopy distinguishes metabolic dynamics of macromolecules in organelar anticancer drug response. *Anal Chem*, 2021. 93(4): 2125-2134

## RACS-Seq® 单细胞拉曼分选-测序耦合系统



- 国内外首台单细胞拉曼分选-测序文库耦合系统
- 获中国科学院科研装备研制专项支持
- 获国家基金委科学仪器基础研究项目支持

通过单细胞微液滴光镊拉曼分选与低偏好性核酸扩增技术，以获取高覆盖度、与代谢表型相关联的单细胞基因组。此外，还能在复杂菌群中直接耦合单细胞分离与单细胞微液滴培养。RACS-Seq®为菌群的代谢活性快检、种质资源挖掘和功能机制研究提供了新一代、原创的装备解决方案。

### 免标多维的代谢组表型快检

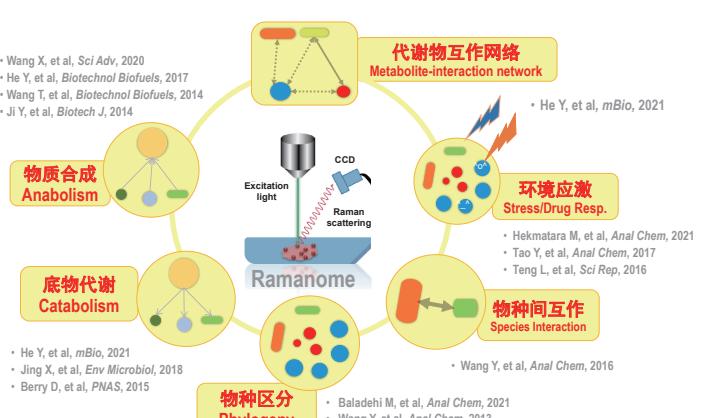
单细胞拉曼光谱有非标记、无损、快速测量细胞代谢表型组、可与单细胞测序对接等优势。基于单细胞拉曼图谱，可鉴别单细胞种类，且并行测量底物代谢、物质合成、代谢物互作网络、环境应激、物种间互作等代谢表型组及其细胞间异质性。

### 高效低噪的单细胞核酸扩增

原创的RAGE-Seq专利技术大幅降低了MDA扩增的偏好性。单个大肠杆菌细胞全基因组序列覆盖度可达90%以上（pL级微液滴扩增体系），远高于对照组（23%； $\mu$ L级扩增体系）。

### 精准简捷的目标单细胞获取

适配原创 RAGE 芯片，利用光镊力锁定表型测量后的目标细胞，并借助超稳流路，将功能单细胞包裹于微液滴（pL 体系）中，“所见即所得”地获取目标单细胞。



拉曼组/元拉曼组能同时揭示丰富多样的单细胞代谢表型组

### 应用场景

- 满足不同实验中单细胞识别、分选和测序文库构建
- 适用于任何大于0.5  $\mu$ m的细菌、古菌和真菌细胞  
(也适用于微藻、植物、动物及人体细胞)



### 海洋生物资源挖掘和生态监测

分选获取海水中单个原位固定CO<sub>2</sub>的目标细菌细胞，并且对1个细胞的基因组即可获得超过95%的基因组覆盖度



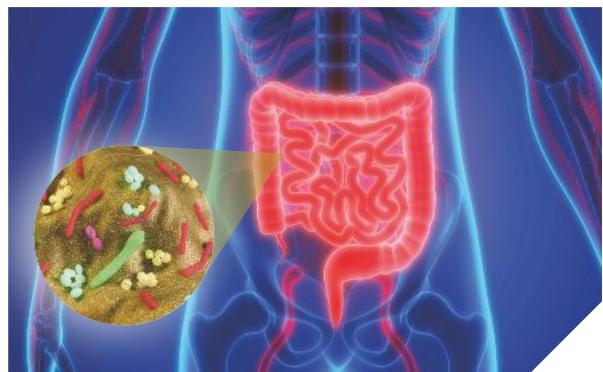
### 环境/农业生物技术

基于重水孵育、针对代谢活性进行菌群中功能细胞的识别、分选和测序，单个细胞的基因组覆盖度可达90%



### 工业生物技术

以莱茵衣藻、小球藻、微拟球藻等为模式，在单个细胞的精度，针对淀粉、蛋白质、甘油三酯含量和脂质不饱和度等表型进行细胞工厂的过程监控和代谢功能筛选；以乳酸菌为模式，在单细胞精度监测工业发酵过程中细胞生长周期与代谢状态的变化



### 医药生物技术（人体微生物）

基于稳定同位素标记底物饲喂拉曼成像和分选，对肠道菌群进行单细胞精度的代谢功能快检、分选、测序和培养；以及对益生菌进行超高通量的快速质控（包括菌种鉴定、活菌计数、代谢活性检测等）和功能筛选

## FlowRACS®

### 高通量流式拉曼分选仪



单细胞拉曼光谱具有非标记、无损、快速测量细胞代谢表型组、可与单细胞测序对接等优势。基于单细胞拉曼光谱，FlowRACS®不需分离培养、在单细胞精度直接鉴定单细胞种类，并可并行测量底物代谢、物质合成、代谢物互作网络、环境应激、物种间互作等代谢表型组及其细胞间异质性。其独创的pDEP-RACS技术，通过在高速液流中基于介电迟滞来精确捕获和采集单细胞拉曼信号，克服了单细胞拉曼分选的通量限制，从而完成了单细胞拉曼信号采集与单细胞分选（及微液滴导出）的集成。同时，FlowRACS®利用全光谱实时判别算法，实现了活体单细胞超高通量拉曼分选的高度自动化，为单细胞层面的代谢表型快检、种质资源挖掘和功能机制研究提供了新一代装备解决方案。

#### 高质量单细胞拉曼图谱采集

采用独创的pDEP-RACS技术，通过周期性施加介电场确保高速流动的单细胞被精确捕获在拉曼激光位点，有效克服了高速液流中细胞拉曼信号弱的难题，确保高质量拉曼谱图的采集。

#### 全自动高通量单细胞分选

采用介电确定性侧向位移技术（pDEP-DLD），实现宽场中高速流动细胞的高效聚焦和目标细胞的高通量分选（分选通量300-600 cells/min）

- 国内外首台高通量流式拉曼细胞分选仪产品
- 连续保持国际上拉曼全谱分选通量记录
- 获中国科学院科研仪器设备研制专项支持

#### 最大程度保留细胞活性

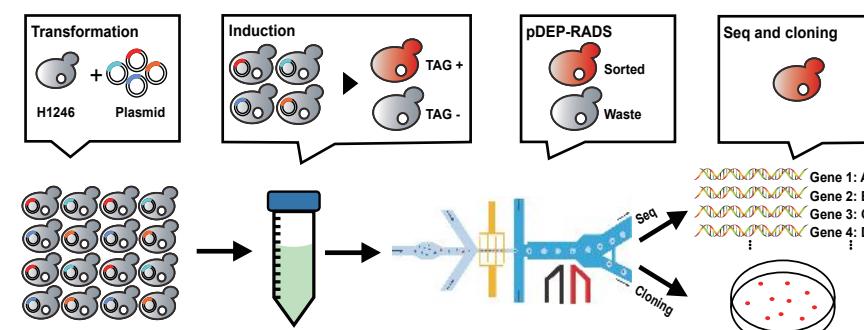
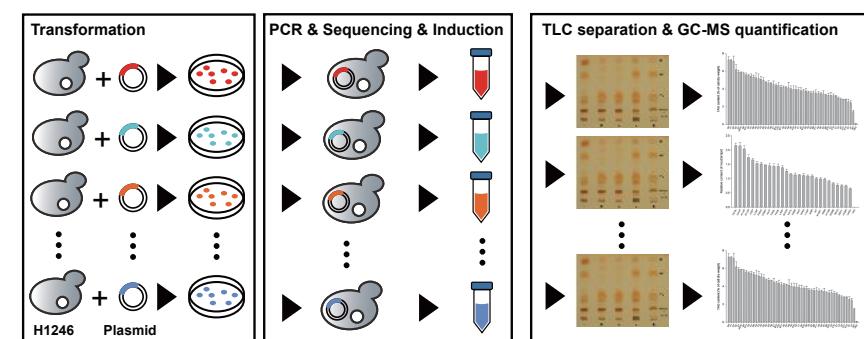
无需外加标记，在液相环境开展单细胞拉曼采集及分选，最大程度保留细胞活性与基因组完整性，可对接单细胞培养和测序。



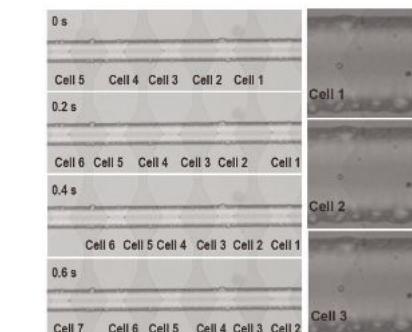
#### 智能化数据分析

全光谱、实时、在线的单细胞拉曼光谱计算引擎，为单细胞代谢表型组分析、分选与数据挖掘提供一站式解决方案。

#### 案例：酶/细胞资源探测



Wang X, et al., Positive dielectrophoresis-based Raman-activated droplet sorting for culture-free and label-free screening of enzyme function *in vivo*. *Sci Adv*, 2020. 6(32): eabb3521



#### 传统方法：

基于培养法筛选细胞工厂生产的二酰基甘油酰基转移酶（DGATs）的活性，对3个强功能基因的筛选和表征，历时长达数月时间。

#### FlowRACS法：

可在单个微生物细胞精度开展DGATs体内活性的非标记式、高通量、高准确率、无损分选。针对来源于微拟球藻的候选DGAT基因库，仅10分钟就成功获得3个已报道的强效基因和2个从未报道过的弱效基因。



#### 应用场景

环境/临床微生物组样品、动植物/人体组织、细胞/酶突变体库

与FACS相比，FlowRACS不再需要针对细胞或酶的底物或产物进行荧光标记，可定量表征代谢表型组。其中，针对油脂含量和不饱和度等多种关键表型，具有更高的检测灵敏度和更宽的动态范围。

## EasySort® 单细胞微液滴分选系统

EasySort®目前包括Lego和Compact两个型号。该系列仪器可保持样品原位状态并进行活性单细胞精准分选，为单细胞的观测监测、捕获操纵、分离提取提供了系统化解决方案，实现“所见即所得”。

EasySort®通过光镊轻松控制单细胞的移动轨迹，并通过独有的重力驱动专利技术，将任何直径大于1μm的目标单细胞迅速包裹成单液滴，可对接下游实验。EasySort®可广泛应用于各类单细胞的分离、分选、培养及测序实验中。

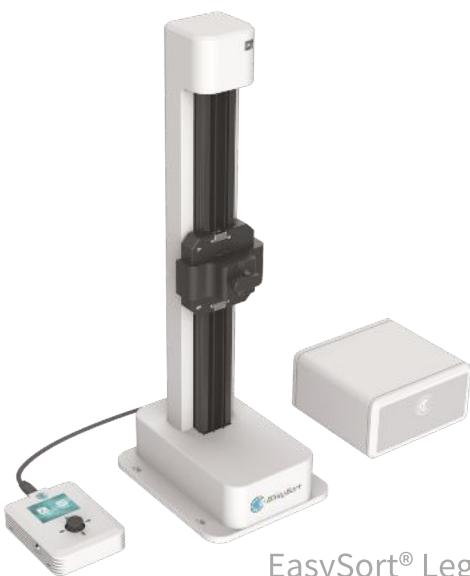
**活性  
单细胞**  
独创的RAGE分选技术  
分选全流程的液相微环境  
最大程度保留单细胞活性

- 首次实现复杂样品中单个细菌精度的可靠分选与微液滴包裹，保证细胞活性和DNA/RNA质量
- 为Thermo Fisher、HORIBA等世界顶尖高端显微镜/精密光谱仪厂商提供单细胞分选模块，合作在全球推广

EasySort® Compact



**多  
模态**  
内置照明与荧光模块  
明场与荧光双模式分选  
让目标微生物无处遁形



**高  
覆盖度**  
配套自主研发试剂盒和耗材  
高效率微体系扩增  
全基因组序列覆盖度可超90%

### 内嵌式LED紫外消杀设计

相对独立的样品分选空间  
将潜在实验污染降到最低

### 友好的人机交互界面

各模块的高度集成一体化  
让分选体验更舒适

## 可拓展性

EasySort® Lego已为世界顶尖高端显微镜/精密光谱仪厂商提供OEM服务



与Raman Imaging Microscope DXR3xi 整合



与LabRam HR Evolution Spectrometer 整合

## 应用场景

可对接下游单细胞培养、功能基因研究、基因组解析、高分辨率成像等



### 案例1 活细胞分选和培养

用户需求：捕捉样品溶液中的单细胞并进行后续培养。  
利用EasySort®可避免环境中杂菌的污染，轻松获得纯菌。EasySort®分选得到的单细胞可用96孔板进行微培养，培养基用目标菌富集培养基。



### 案例2 活性污泥微生物分选

用户需求：研究污水中活性污泥微生物，传统划线方法获得的都是优势菌，很难得到低丰度菌。  
如采用FACS分选细胞，样品需要预处理（如5-10 μm滤膜过滤），会严重损失样品。  
利用EasySort®可获取样品中尽可能多的单细胞，下游可开展测序或者培养实验。



### 案例3 厌氧微生物

用户需求：开展厌氧氨氧化细菌单细胞分选研究。  
可将EasySort®置于厌氧工作站中开展混菌分纯实验，研究功能菌能单独生长还是共生长。



### 案例4 肠道微生物

用户需求：关注肠道微生物分选、测序，主要研究色氨酸代谢相关菌。  
经过简单的样品预处理，样品溶液利用EasySort®可获取目的微生物单细胞。



### 案例5 海洋微生物

用户需求：研究海洋沉积物中大小为1-2 μm的难培养微生物，计划对样品中的微生物进行分离、富集、培养。  
经过简单的样品预处理，样品溶液利用EasySort®可获取目的微生物单细胞。



### 案例6 土壤微生物

用户需求：研究特定区域内土壤中的难培养微生物，挖掘其中重要的功能基因。  
经过简单的样品预处理，样品溶液利用EasySort®可获取大量的微生物单细胞，可利用测序获得更多未知功能基因。

## 医学领域

- 基于重水饲喂单细胞拉曼光谱技术，示范该技术在鲍曼不动杆菌的替加环素敏感性方面的应用 [28]
- 发明CANST-R技术，实现了单细胞器精度、基于代谢抑制、揭示耐药机制、快速、低成本的肿瘤药敏快检 [24]
- 发明RAGE-Seq技术，示范临床尿液样本中单细胞精度的病原菌菌种判别、药敏性检测和高覆盖度基因组测序 [22]
- 提出MIC-MA概念和CAST-R原理，在单个细菌细胞精度、快速测量药物对细胞代谢活性的抑制性，服务药敏快检和抗菌药效评价 [15]
- 提出药物应激拉曼条形码（RBCS）概念，利用拉曼组快速区分耐药机制，服务抑菌药物评价、耐药细菌筛选和细胞-药物互作研究 [9]
- 重水标记单细胞拉曼技术分析黏蛋白/葡萄糖胺刺激下小鼠盲肠菌群中的代谢活跃细胞 [7]

## 工业领域

- 发明IRCA算法，无需标记或破坏细胞，仅基于一个拉曼组数据点（即一个样品的一个状态），就能推测代谢物相互转化网络 [31]
- 开发aDDA平台，可快速分离获取单细胞，并批量完成单细胞裂解、高覆盖度核酸扩增和产物回收 [30]
- 基于拉曼组快速、低成本、非侵入性地鉴定单细胞精度的工业微藻代谢表型组 [25]
- 发明pDEP-RADS技术，服务酶体内活性的高通量流式拉曼分选，为酶资源筛选开辟全新技术 [23]
- 发明RADS技术，服务高产虾青素雨生红球藻的精确化、高通量、高活性保持的分选 [14]
- 出芽酵母、酿酒酵母、莱茵衣藻等的精确、高速、低成本的单细胞分离 [13]
- 利用单细胞拉曼技术区分和测定细胞的发酵状态，服务发酵过程监控 [12]
- 植物细胞工厂的高精度、高通量代谢表型组测量：单个细胞精度同时测量淀粉、甘油三酯、蛋白质含量以及油脂不饱和度 [11]
- 发明RAMS技术，示范产色素工程酵母和普通酵母细胞拉曼流式分选 [8]
- 在单细胞精度定量表征微藻细胞群体的产油表型组，并监控其动态过程 [4]
- 单细胞精度的微藻代谢产物含量测定 [3]
- 酿酒酵母精确、低成本的单细胞微液滴生成 [2]
- 发明初代RACE技术，示范大肠杆菌、链球菌等细胞工厂的拉曼激活单细胞弹射 [1]

## 环境与农业领域

- 发表首个微藻拉曼组数据库，并结合机器学习示范单细胞精度、快速的微藻种类鉴定和代谢功能表征 [29]
- 基于重水标记单细胞拉曼光谱技术，探究土壤移置后活菌对不稳定碳的代谢活性 [27]
- 复杂环境样品（土壤菌群）精确到一个细菌细胞的拉曼全谱测量（代谢活性、生产类胡萝卜素等）和高覆盖度基因组测序 [26]
- 发明二代RACE技术，示范土壤菌群中单细胞（5个细胞混合）MDA扩增 [21]
- 基于手机的单细胞微液滴培养，大肠杆菌、枯草芽孢杆菌6 h即可得到活菌计数结果 [17]
- 原位考察细胞间代谢互作与共生 [10]

## 海洋领域

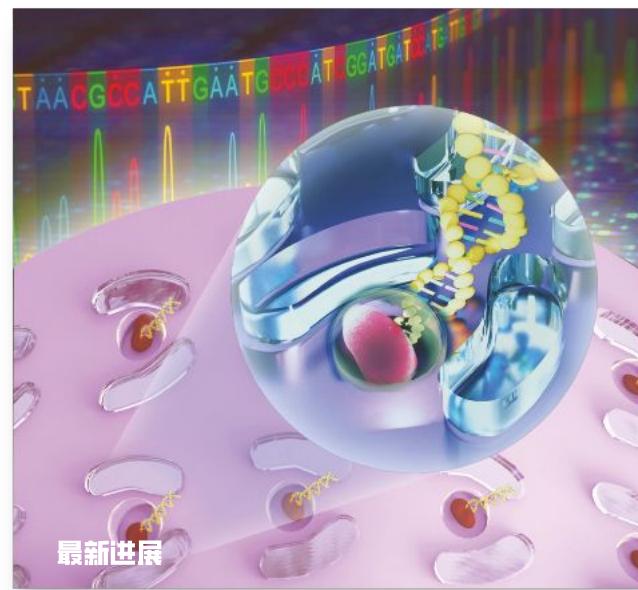
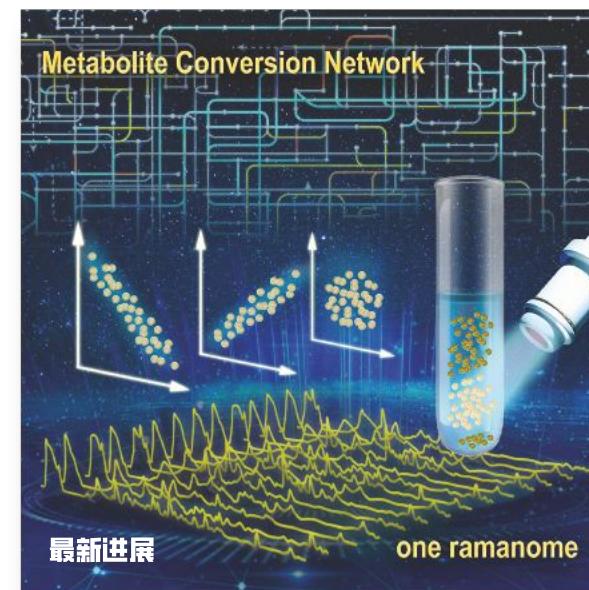
- 针对海洋浮游植物和微生物组中酶资源挖掘瓶颈，示范基于单细胞拉曼的酶体内活性高通量自动化筛选 [23]
- 建立拉曼介导靶向元基因组技术，研究海洋微生物组的固碳机制 [18]

## 综述

- 拉曼组技术平台支撑单细胞精度、非标记式的微生物细胞工厂筛选 [20]
- 人工细胞的表型测试与分选：构建从光谱学到遗传学的桥梁 [19]
- 微生物组分析发展趋势：单细胞功能成像与微生物组大数据（首次提出拉曼组和元拉曼组的概念） [16]
- 高通量、结合微流控的拉曼激活细胞分选是单细胞分析的强有力工具 [5]

31. He Y, et al., *mBio*, 2021. 12(4): e01470-21  
提出名为“拉曼组内关联分析”（IRCA）的理论框架与算法，并示范细胞工厂功能测试等方面的应用。
30. Li C, et al., *Small*, 2021. 17(37): 202100325  
开发aDDA平台，可快速分离获取单细胞，并批量完成单细胞裂解、高覆盖度核酸扩增和产物回收。
29. Baladehi M, et al., *Anal Chem*, 2021. 93(25): 8872-8880  
发表首个微藻拉曼组数据库，并结合机器学习，示范单细胞精度、快速的微藻种类鉴定和代谢功能表征。
28. Hua X, et al., *Emerg Microbes Infect*, 2021. 10(1): 1404-1417  
基于重水饲喂单细胞拉曼光谱技术，示范鲍曼不动杆菌对替加环素敏感性精确评价的应用。
27. Ni H, et al., *ISME J*, 2021. 15(9): 2561-2573  
基于重水饲喂单细胞拉曼光谱技术，示范土壤微生物代谢和残体对土壤有机碳固存方面研究的应用。
26. Jing X, et al., *mSystems*, 2021. 6(3): e00181-21  
首次示范复杂环境样品（土壤菌群）精确到一个细菌细胞的拉曼全谱测量和高覆盖度基因组测序。
25. Wang Q, et al., *Plant J*, 2021. 106(4): 1148-1162  
基于拉曼组可快速、低成本地在单细胞精度鉴定微藻的代谢表型组，包括油脂含量、油脂不饱和度等。
24. Hekmatara M, et al., *Anal Chem*, 2021. 93(4): 2125-2134  
开发重水饲喂单细胞拉曼光谱肿瘤药敏快检技术D2O-CANST-R，基于“代谢抑制”检测肿瘤药敏，快速揭示药物作用机制。
23. Wang X, et al., *Sci Adv*, 2020. 6(32): eabb3521  
开发了pDEP-RADS，首次示范了基于分子光谱、非标记式、单细胞精度、高通量的流式酶活筛选。
22. Xu T, et al., *Small*, 2020. 16(30): e2001172  
开发了RAGE-Seq，从临床尿液样本中直接识别和分选出耐受特定抗生素的临床大肠杆菌，并进行精确到一个细胞的全基因组测序，覆盖度可达99.5%。
21. Su X, et al., *Anal Chem*, 2020. 92(12): 8081-8089  
开发二代单细胞拉曼弹射技术，将纯培养大肠杆菌（每个MDA含5个弹射出的细胞）基因组覆盖度从<20%提高到50%。
20. He Y, et al., *Biotechnol Adv*, 2019. 37(6): 107388  
聚焦拉曼组技术平台的最新进展，包括基于拉曼技术的表型识别、单细胞分选和单细胞测序。
19. Ma B, et al., *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018. 33(11): 1193-1204  
非标记式分子光谱学的单细胞功能表征、分选与组学技术为细胞工厂的高通量、全景式表型检测与筛选提供全新的解决方案。
18. Jing X, et al., *Env Microbiol*, 2018. 20(6): 2241  
建立拉曼介导的靶向元基因组技术RGM，可利用单细胞拉曼光谱识别细胞原位固碳功能，分选与测序特定固碳功能的单细胞。
17. Cui X, et al., *Analyst*, 2018. 143(14): 3309-3316  
开发基于智能手机的微液滴浊度成像技术dSPC，大肠杆菌、枯草芽孢杆菌和阪崎肠杆菌可6 h后活菌计数，常规SPC需24 h。
16. Xu J, et al., *Engineering*, 2017. 3(1): 66-70  
微生物组分析技术的发展趋势：从单细胞功能成像到菌群大数据。
15. Tao Y, et al., *Anal Chem*, 2017. 89(7): 4108-4115  
开发基于重水标记单细胞拉曼成像的药物抗菌效果评价技术，可在半小时内快速区分氟耐受型和氟易感型的变形链球菌。
14. Wang X, et al., *Anal Chem*, 2017. 89(22): 12569-12577  
开发RADS，实现了高产虾青素的雨生红球藻的流式筛选，分选后92.7%的细胞仍可增殖。
13. Zhang Q, et al., *Sci Rep*, 2017. 7: 41192  
开发了FOCOT平台，可精确、高速、低成本地分离、获取与分装单个微生物细胞，获取率>90%，培养成功比例>80%。
12. Ren Y, et al., *Microb Cell Fact*, 2017. 16(1): 233  
拉曼光谱可以对细胞生长进行无标记、连续的监测，可以更准确地估计工业发酵培养过程中乳酸菌群的生长状态。

11. He Y, et al., *Biotechnol Biofuels*, 2017. 10: 275  
基于“拉曼组”，在莱茵衣藻和微拟球藻中示范单个细胞精度同时测量淀粉、甘油三酯、蛋白质含量以及油脂不饱和度。
10. Wang Y, et al., *Anal Chem*, 2016. 88(19): 9443-9450  
发明反向拉曼标记技术，在人工菌群中示范了单细胞水平解析与示踪细胞间的代谢互作与共生关系。
9. Teng L, et al., *Sci Rep*, 2016. 6: 34359  
开发基于拉曼组的细菌耐药性快检技术，可高度灵敏、快速、可靠地识别细菌应激反应，并区分与揭示细胞的耐药机制。
8. Zhang P, et al., *Anal Chem*, 2015. 87(4): 2282-2289  
开发了基于阵列介电单细胞捕获/释放的快速拉曼识别技术，可进行产色素工程酵母和普通酵母细胞的拉曼流式分选。
7. Berry D, et al., *PNAS*, 2015. 112(2): E194-203  
开发了重水标记单细胞拉曼技术，可识别黏蛋白/葡萄糖胺刺激下小鼠盲肠中的菌群。
6. Li C, et al., *Analyst*, 2015. 140(3): 701-705  
开发了一种向微液滴中精确、定量添加多种试剂的技术。
5. Zhang Q, et al., *Analyst*, 2015. 140(18): 6163-6174  
高通量、结合微流控的拉曼激活细胞分选是单细胞分析领域的强有力工具。
4. Wang T, et al., *Biotechnol Biofuels*, 2014. 7: 58  
开发了单个活体细胞水平的甘油三酯（TAG）含量免标记测量技术，定量、动态地监测单细胞精度的微藻TAG合成过程。
3. Ji Y, et al., *Biotechnol J*, 2014. 9(12): 1512-1518  
发明基于拉曼光谱的快速、非侵入、不须标记、单细胞精度的淀粉定量检测方法，大幅提高微藻种质淀粉含量筛选效率。
2. Zhang Q, et al., *Lab Chip*, 2014. 14(24): 4599-4603  
开发了基于电磁阀吸吮的微流控细胞分离技术，可精确、低成本地控制单细胞微液滴的生成。
1. Wang Y, et al., *Anal Chem*, 2013. 85(22): 10697-10701  
开发了拉曼激活细胞弹射技术RACE，可用于将特定拉曼表型的单细胞从复杂微生物群落中分离。

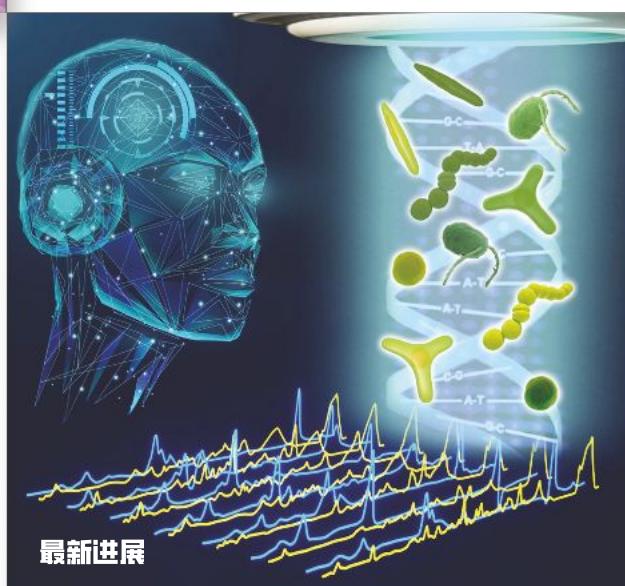


基于可寻址动态液滴阵列的单细胞测序技术

Li C, et al., Integrated addressable dynamic droplet array (aDDA) as sub-nanoliter reactors for high-coverage genome sequencing of single yeast cells. *Small*, 2021. 17(37): e2100325

### 基于拉曼组与机器学习的微藻种质挖掘新技术

Baladehi M, et al., Culture-free identification and metabolic profiling of microalgal single cells via ensemble learning of Ramanomes. *Anal Chem*, 2021. 93(25): 8872-8880



高基因覆盖度的环境菌群单细胞RACS-Seq技术



Jing X, et al., One-cell metabolic phenotyping and sequencing of soil microbiome by Raman-Activated Gravity-driven Encapsulation (RAGE). *mSystems*, 2021. 6(3): e00181-21