

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明(1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水平(8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思(15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳(21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远(27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋(34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨(39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜(DMSO)的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋(45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇(51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙(61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁(69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍(77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军(84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元(91)
湘江沉积物铜和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山(98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男(108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟(116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强(121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军(129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新(137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦(145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民(150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳(156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐(163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直(169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺(177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴(182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓(188)
污水厂微曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇(194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根(198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文(204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢(209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立楠,何宝燕,李跃鹏(217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳(226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南(231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛(237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福(244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏(251)
多效应残差法(MERA)表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾(257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远(263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文(271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林(277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国(283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博(288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇(293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,贾玉娟(302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少峰,黄永峰(308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲(315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎(321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志(328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易(336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强(347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文	
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛(357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正(364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强(373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,吕立云,罗维(379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新(385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌(395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌(401)
《环境科学》征订启事(26)	《环境科学》征稿简则(68)
信息(76,144,301,400)	专辑征稿通知(394)

不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响

徐慧伟^{1,2}, 张旭¹, 李立明¹, 郑光洁¹, 李广贺^{1*}

(1. 清华大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 2. 住房和城乡建设部城乡规划管理中心, 北京 100835)

摘要: 乙醇透性处理 1 株普通脱硫弧菌 *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough (DvH) 强化硫酸盐生物还原活性, 研究不同基质条件下透性处理程度对其硫酸盐还原活性影响. 当以 H_2 为电子供体时, 10% 乙醇处理的 DvH 硫酸盐还原活性最强, 其次为 15%; 当乙醇浓度 > 15% 时, DvH 硫酸盐还原活性显著降低. 当以乳酸为电子供体时, 最佳乙醇浓度为 20%, 其次为 15% 和 10%, 乙醇浓度达到 25% 时, DvH 仍保持一定的还原活性. 不同供体条件下 DvH 对透性处理程度的响应不同, 是因为 H_2 与乳酸在细胞内发生氧化的位置不同, 从而胞内电子传递途径不同. 确保供体与受体之间电子传递链的完整性是合理确定透性处理程度及透性技术应用的关键.

关键词: 脱硫弧菌; 透性处理; 硫酸盐还原; H_2 ; 乳酸

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0177-05

Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors

XU Hui-wei^{1,2}, ZHANG Xu¹, LI Li-ming¹, ZHENG Guang-jie¹, LI Guang-he¹

(1. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Urban-Rural Planning Administration Center of Ministry of Housing and Urban-Rural Development, Beijing 100835, China)

Abstract: The *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough (DvH) cells permeabilized with ethanol were used as biocatalysts to enhance hydrogenotrophic sulfate conversion. The effect of permeabilization extent of DvH cells on sulfate reduction was studied in the presence of different electron donors. When hydrogen was used as an electron donor, the highest level of sulfate reduction activity attained in cells treated with 10% ethanol (V/V), followed by 15%-ethanol treated cells. Furthermore, sulfate reduction activity markedly decreased when the ethanol concentration exceeded 15%. However, when lactate was used as the electron donor, the optimum ethanol concentration of the permeabilizing reagent was 20%, followed by 15% and 10%. Even when ethanol concentration reached 25%, DvH cells remained their partial activity with lactate. In a word, sulfate reduction activity of DvH cells responded differently in the presence of different donors. This was because the oxidation process of H_2 and lactate occurred at different positions in DvH cells, and consequently intracellular electron transport pathway differed. To ensure the integrity of the electron transport chain between the donor and the acceptor was a key factor for determining the permeabilization extent and for the application of cell permeabilization technology.

Key words: *Desulfovibrio vulgaris*; permeabilization; sulfate reduction; H_2 ; lactate

细胞透性处理技术能够在不破坏细胞整体体系的情况下,适当增强细胞壁膜的通透性,降低传质阻力,提高生物催化效率.透性处理过程简便,方法多样,已成为生物转化、胞内物质提取、胞内酶原位分析、固定化细胞制备等领域的有效技术手段^[1~3],近年来水处理领域也开始应用多结合细胞固定技术^[4~6].硫酸盐还原菌(sulfate reducing bacteria, SRB)是革兰氏阴性菌(G^-),细胞壁可分为外膜和内膜两层,脂类在整个细胞壁中占有的比例很高,可达40%以上.研究表明,利用有机溶剂适度增强其通透性可以显著提高硫酸盐还原速率^[7].然而,细胞壁膜通透性改变情况与透性处理方法、剂量以及微生物

类型密切相关.即使采用相同透性处理方法,同一类微生物、甚至同一微生物的不同生长阶段,也会由于细胞壁、膜的组成和结构不同而有很大差别,这增加了透性处理技术应用的不确定性.目前,对于硫酸盐还原菌透性处理及应用的研究较少,为此本研究针对SRB外膜特性,以1株普通脱硫弧菌 *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough (DvH) 为代表菌株,采用乙醇

收稿日期: 2012-03-24; 修订日期: 2012-05-15

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项重大项目(201009009-003)

作者简介: 徐慧伟(1981~),女,博士,主要研究方向为水体污染控制与修复, E-mail: huiweixu@163.com

* 通讯联系人, E-mail: ligh@tsinghua.edu.cn

为有机透性剂进行处理,比较分析分别采用 H_2 和乳酸为电子供体条件下,透性处理程度对 DvH 硫酸盐还原活性的影响,并探讨了作用机制,以期为此项技术的应用提供支撑。

1 材料与方法

脱硫弧菌是 SRB 的典型菌属,能够利用 H_2 作为无机电子供体,也能利用有机物(如乳酸)为电子供体。研究选用脱硫弧菌的代表菌种 DvH (DSM644),购自德国微生物保藏和细胞培养中心(DSMZ),培养基采用 Medium 63^[8]。

透性处理步骤:将 1 500 mL 30℃ 培养 72 h 的菌液在 9 000 $r \cdot \min^{-1}$ 4℃ 下离心 15 min (日立 CR22G, 日本),收集菌体,用 80 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸盐-2 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2S 缓冲液(PsBS, pH 7.0)离心洗涤两次,用 50 mL PsBS 重新悬浮。取 5 mL 菌悬液分别加入 50 mL 不同乙醇浓度的透性试剂中摇匀,4℃ 下静置接触 30 min,离心洗涤后重新悬浮于适量 PsBS 即得透性处理的细菌。透性试剂为 PsBS 添加乙醇制得,乙醇浓度为 0% ~ 40% (体积浓度),通过调节透性剂中的乙醇浓度来控制透性处理程度。不含乙醇的 PsBS (即 0% 乙醇)同步处理的细菌为对照,所有操作在无菌厌氧环境下进行。

硫酸盐代谢活性检测:反应瓶体积 500 mL,培养基 350 mL,反应瓶置于 30℃ 恒温摇床,振荡速度 100 $r \cdot \min^{-1}$ 。活性测试基础培养基每升含有如下组分: $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 2.15 g, KH_2PO_4 0.54 g, NH_4Cl 1.0 g, MgSO_4 0.06 g, Na_2SO_4 1.42 g,混合维生素及微量元素 2 mL, NaHCO_3 0.168 g, Na_2S 2.4 mmol。当用 H_2 为电子供体时,基础培养基中添加 2 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaAC,与 HCO_3^- 共同作为同化碳源(DvH 以 H_2 为电子供体代谢时,不能以无机碳为单一碳源^[9-11]),并添加 2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的生物素(维生素 H,过滤除菌)促进菌体生长,上方气室充满 $H_2/\text{CO}_2 = 9/1$ 的混合气(微正压)。其中 NaHCO_3 及 Na_2S 分别配制 20 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、240 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 高浓度储备液,独立灭菌冷却后在厌氧环境下加入,必要时用 HCl 调节 pH 至 7.5。当用乳酸做电子供体时,添加乳酸钠 4.7 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,不加 NaHCO_3 和 NaAC,气室充满高纯 N_2 。硫酸盐浓度采用比浊法^[12]测定。

2 结果与分析

2.1 以 H_2 为电子供体的 SO_4^{2-} 还原

不同浓度乙醇处理的 DvH 在以 H_2 为电子供

体、可增殖条件下的硫酸盐浓度变化曲线如图 1 所示。

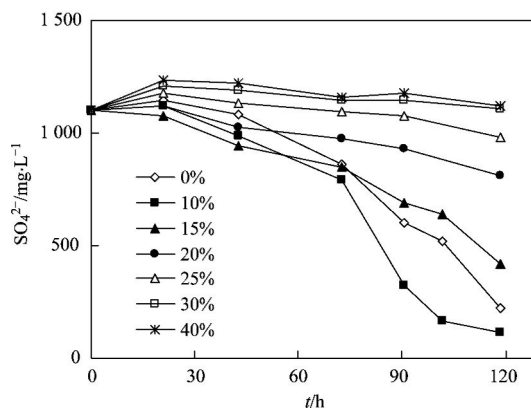


图 1 以氢气为电子供体时硫酸盐浓度变化曲线

Fig. 1 Profiles of sulfate concentration variation with H_2 as an electron donor

由图 1 可见,对照细菌和低浓度乙醇(10% ~ 15%)处理的 DvH 硫酸盐还原速率逐步提高(斜率绝对值逐渐增大)。透性处理增强 DvH 硫酸盐还原速率,这与细胞壁膜通透性增强后胞内 H_2 浓度提高,氢化酶可接触的有效基质浓度增大有关^[13],本课题组之前的研究结果也表明,适度透性处理后氢化酶活性显著提高^[7]。结合透性细菌增殖能力的检测结果^[7],可以解释这一现象:当乙醇浓度 < 15% 时,DvH 细菌具有增殖能力,随着生物量逐渐增大,还原速率逐步提高。然而上述 3 种细菌的硫酸盐还原速率在不同时间段内变化规律不同,0 ~ 42.5 h 期间,与对照细菌相比,10% 和 15% 乙醇处理的细菌的硫酸盐还原速率(斜率)较大,这是由于此阶段 DvH 增殖较少,透性处理增大 H_2 胞内浓度和氢化酶活性这一因素的影响占主要地位。而 72.5 h 之后,对照细菌的硫酸盐还原速率超过 15% 乙醇处理的细菌、但仍低于 10% 乙醇处理的细菌。这说明 72.5 h 之后,由于对照细菌和 10% 乙醇处理细菌的增殖加速,细菌增殖成为提升硫酸盐还原速率的主导因素。上述因素综合作用的结果表明,10% 乙醇处理的细菌由于兼具细胞通透性增强和增殖能力有效保持两个因素,其还原速率在整个间歇运行阶段最大。115.5 h 后其还原速率减缓,是由于 SO_4^{2-} 浓度变低所致。

与低浓度乙醇处理不同,当乙醇浓度为 20% 和 25% 时,DvH 硫酸盐还原速率较低,且反应速率(斜率)变化幅度不大。当乙醇浓度增大到 30% ~ 40% 时,几乎未检测到发生硫酸盐还原过程,此时细胞质流失严重,氢化酶活性丧失^[7]。

2.2 以乳酸为电子供体的 SO_4^{2-} 还原

当以乳酸为电子供体时,透性处理程度对 DvH 硫酸盐还原活性的影响见图 2. 从中可知,当乙醇浓度为 20% 时,DvH 的硫酸盐还原活性最大,其次为 10% 和 15% 乙醇处理的细菌. 比较分析 10% 和 20% 乙醇处理 DvH 的代谢活性,与以 H_2 为电子供体的情况显著不同:一方面,具有增殖能力的 10% 乙醇处理的细菌的硫酸盐浓度变化曲线未出现斜率绝对值增大的情况,这可能是由于某种原因导致细菌增殖较慢或者菌体浓度低,使得增殖效应未得到体现;另一方面,基本丧失增殖能力^[7]的 20% 乙醇处理的 DvH,在 20 ~ 83.5 h 期间始终维持较高的还原速率,平均为 $11.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. 当乙醇浓度提高到 25% 时,尽管 DvH 完全失去增殖能力,其仍具有一定的硫酸盐代谢活性. 上述现象从氢化酶活性和细菌增殖能力变化两个方面无法充分解释.

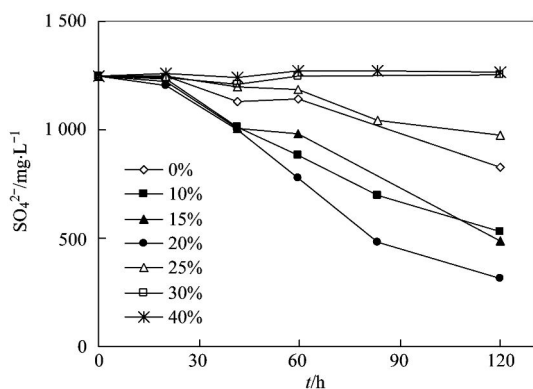


图 2 以乳酸为电子供体时硫酸盐浓度变化曲线

Fig. 2 Profiles of sulfate concentration variation with lactate as an electron donor

3 讨论

硫酸盐在 SRB 生物体内的还原需要转移 8 个电子,其代谢是多种酶参与的一系列复杂过程. H_2 从能量角度而言是极佳的电子供体,乳酸是研究 SRB 最“经典”的电子供体,可用于培养几乎所有的 SRB,且以乳酸为电子供体培养的脱硫弧菌转为以 H_2 为电子供体培养时几乎不存在延滞期^[14]. 同时, H_2 和乳酸是研究硫酸盐还原菌以无机和有机电子供体生长的两种典型电子供体,因而选用这两种电子供体进行比较研究具有很强的针对性和代表性.

SRB 以 SO_4^{2-} 为电子受体的代谢过程中, SO_4^{2-} 的还原发生在细胞质内^[15],即对于完整细胞而言, SO_4^{2-} 需要穿过细胞壁膜进入细胞质才能实现还原,透性处理强化细胞壁膜通透性,促进了 SO_4^{2-} 由胞

外到胞内的传质. 尽管由于两组实验采用的初始细菌浓度可能不同,无法从还原速率的绝对值进行比较,但由 2.1 和 2.2 节的结果可知,在不同的电子供体条件下,透性处理程度对于 DvH 的硫酸盐还原活性的响应差别很大:当以 H_2 为电子供体时,乙醇浓度超过 15% 即对代谢过程产生较大负面影响;而当以乳酸为电子供体时,透性剂中乙醇的最高允许浓度却较高,表现为 20% 乙醇处理的 DvH 代谢速率最快,25% 乙醇处理的 DvH 仍具有一定的还原能力. 分析不同基质条件下电子传递链可以解释这一区别.

脱硫弧菌以 H_2 /乳酸为电子供体时电子传递过程如图 3 所示. 全序列 DvH 共有 6 种氢化酶^[16],4 种位于细胞周质,一般认为这 4 种氢化酶参与完成 H_2 的氧化^[17,18]. 当以 H_2 为唯一电子供体时, H_2 在细胞周质空间被氧化^[14],释放质子,形成跨膜的质子梯度. 电子通过细胞色素 C_3 (TpI-C_3) 传递到细胞内部,经过一系列复杂的过程实现硫酸盐还原(图 3 中实线所示路径).

当脱硫弧菌以乳酸等有机物作为电子供体时,存在两种电子传递过程,且 2 种过程可同时作用. 第一种是乳酸氧化产生的还原力通过位于细胞质内的 $[\text{NiFeSe}]$ 氢化酶产生 H_2 并释放到细胞周质区^[19],在细胞周质区内, H_2 消耗过程与以 H_2 为唯一电子供体的过程相同(图 3 路径①). 第二种是在细胞质内一系列酶的作用下,电子从供体(乳酸)一步步传递到受体(SO_4^{2-}),无 H_2 参与环节,即电子传递链完全位于细胞质内(图 3 路径②). 动力学和热力学条件协同控制电子流在这两种途径流经的比例^[20],但研究证明产生 H_2 的环节不是必需的, Odom 等^[21]构建了 1 株普通脱硫弧菌的突变菌株,能以乳酸/ SO_4^{2-} 生长,但不能利用 H_2 做电子供体,证明 H_2 的产生不是必需环节. 普通脱硫弧菌具备上述两种代谢途径是在进化过程中,为了适用环境条件改变以便于迅速做出响应而形成的^[14].

经过乙醇透性处理,DvH 细胞壁膜受到不同程度的损伤. 在以 H_2 为电子供体条件下,乙醇浓度 10% ~ 15% 时,细胞壁外膜通透性增强,细胞膜仍保持完整,周质空间氢化酶完成 H_2 的氧化过程,同时将电子传递给膜内相关酶完成硫酸盐的还原过程. 当乙醇浓度高于 15% 时,细胞壁破坏严重,周质空间的氢化酶流失,甚至细胞质流失,导致以 H_2 为唯一电子供体的电子传递链被打断, SO_4^{2-} 还原无法完成. 而当以乳酸为电子供体时,即使较高浓度乙醇

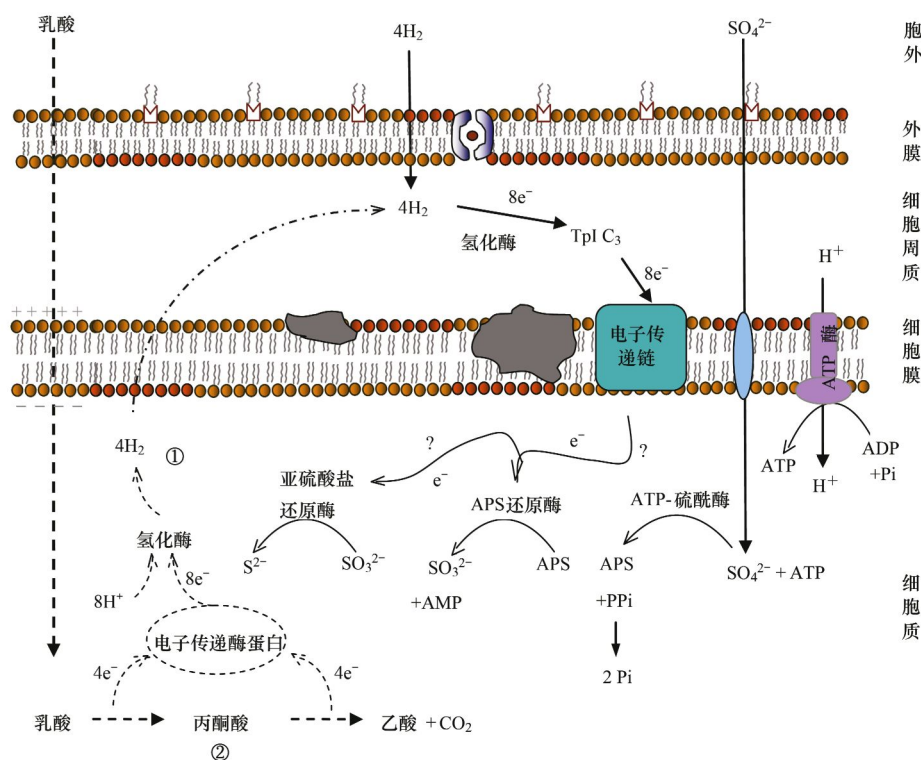


图3 脱硫弧菌以 H_2 /乳酸为电子供体时电子传递过程示意^[20,22]

Fig. 3 Schematic diagram of electron transfer process of *Desulfovibrio* with H_2 /lactate as an electron donor

破坏了细胞壁的完整性,菌体仍可以采用第二种代谢途径(图3 路径②)完成由乳酸到 SO_4^{2-} 的电子传递,实现 SO_4^{2-} 还原,因而乙醇的最高允许浓度可达到25%。进一步提高乙醇浓度时,由于细胞膜被破坏,细胞质流失严重,无论采用哪一种电子供体,DvH 的硫酸盐还原活性都基本丧失。

通过增强 SRB 细胞壁膜通透性促进硫酸盐还原是一种有效的手段。为避免透性处理技术应用的盲目性,应根据所采用的电子供体代谢特点,有针对性地确定透性处理程度,确保代谢过程电子传递链的完整性,否则代谢无法完成。

4 结论

(1)乙醇透性处理普通脱硫弧菌 DvH,可显著提高其硫酸盐还原速率。以 H_2 为电子供体时,10%乙醇处理的 DvH 代谢活性最强,乙醇浓度超过20%时 DvH 硫酸盐代谢活性损失较大;当以乳酸为电子供体时,最佳乙醇浓度为20%,乙醇浓度达到25%时 DvH 仍保持一定的硫酸盐还原活性。

(2) H_2 与乳酸在细胞内发生氧化的位置不同,决定了两种基质下,透性处理程度对 DvH 硫酸盐代谢活性的影响不同。确保供体与受体之间的电子传递链完整性是确定合理透性处理程度及透性技术应

用的关键。

参考文献:

- [1] 刘晓华,李海星,陈燕,等.透性化细胞制备方法的研究进展[J].食品工业科技,2011,32(11):475-479.
- [2] 王彪,田丰伟,励建荣,等.冷冻干燥对乳酸菌细胞膜通透性的影响[J].微生物学通报,2009,36(5):684-688.
- [3] Kumari S, Panesar P S, Bera M B, et al. Permeabilization of yeast cells for β -Galactosidase activity using mixture of organic solvents: a response surface methodology approach [J]. Asian Journal of Biotechnology, 2011, 3(4): 406-414.
- [4] Choi K C, Song S H, Yoo Y J. Permeabilization of *Ochrobactrum anthropi* SY509 cells with organic solvents for whole cell biocatalyst [J]. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2004, 9(4): 147-150.
- [5] Oh C K, Song S H, Kim Y H, et al. Bioelectrochemical denitrification using permeabilized *Ochrobactrum anthropi* SY509 [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2006, 16(5): 678-682.
- [6] Agthoven A V, Malergue F, Rabellino E. Cell permeabilization and stabilization reagent and method of use[P]. US 7678578, 2010-3-16.
- [7] Xu H W, Zhang X, Li L M, et al. Enhanced hydrogenotrophic sulfate reduction using *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough cells permeabilized with ethanol[J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2009, 84(10): 1539-1543.
- [8] http://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium63.pdf, 2011-9-30.

- [9] Postgate J A. On the autotrophy of *Desulphovibrio desulphuricans* [J]. Zeitschrift für Allgemeine Mikrobiologie, 1960, **1**(1): 53-56.
- [10] Brandis A, Thauer R K. Growth of *Desulfovibrio* species on hydrogen and sulphate as sole energy source [J]. Journal of General Microbiology, 1981, **126**(1): 249-252.
- [11] Brysch K, Schneider C, Fuchs G, *et al.* Lithoautotrophic growth of sulfate-reducing bacteria, and description of *Desulfobacterium autotrophicum* gen. nov., sp. Nov. [J]. Archives of Microbiology, 1987, **148**(4): 264-274.
- [12] 美国公共卫生协会著, 宋仁元等, 译. 水和废水标准检验手册 [M]. (第 15 版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1985. 404-415.
- [13] Caffrey S M, Park H S, Voordouw J K, *et al.* Function of periplasmic hydrogenases in the sulfate-reducing bacterium *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough [J]. Journal of Bacteriology, 2007, **189**(17): 6159-6167.
- [14] Widdel F, Hansen T A. The dissimilatory sulfate and sulfur reducing bacteria [A]. In: Balows A, Truper H G, Dworkin M, *et al.* (Eds.). The Prokaryotes: a handbook on the biology of bacteria: ecophysiology, isolation, identification, applications [M]. New York: Springer-Verlag, 1992. 583-624.
- [15] Widdel F. Microbiology and ecology of sulfate-and sulfur-reducing bacteria [A]. In: Zehnder A J B (Ed.). Biology of anaerobic microorganisms [M]. New York: John Wiley & Sons 1988. 469-585.
- [16] Heidelberg J F, Seshadri R, Haveman S A, *et al.* The genome sequence of the anaerobic sulfate-reducing bacterium *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough [J]. Nature Biotechnology, 2004, **22**(5): 554-559.
- [17] Huynh B H, Czechowski M H, Kruger H J, *et al.* *Desulfovibrio vulgaris* hydrogenase: a nonheme iron enzyme lacking nickel that exhibits anomalous EPR and Mössbauer spectra [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1984, **81**(12): 3728-3732.
- [18] Rohde M, Fürstenau U, Mayer F, *et al.* Localization of membrane-associated (NiFe) and (NiFeSe) hydrogenases of *Desulfovibrio vulgaris* using immunoelectron microscopic procedures [J]. European Journal of Biochemistry, 1990, **191**(2): 389-396.
- [19] Odom J M, Peck H D. Hydrogen cycling as a general mechanism for energy coupling in the sulfate-reducing bacteria, *Desulfovibrio* sp. [J]. FEMS Microbiology Letters, 1981, **12**(1): 47-50.
- [20] Noguera D R, Brusseau G A, Rittmann B E, *et al.* A unified model describing the role of hydrogen in the growth of *Desulfovibrio vulgaris* under different environmental condition [J]. Biotechnology and Bioengineering, 1998, **59**(6): 732-746.
- [21] Odom J M, Wall J D. Properties of a hydrogen-inhibited mutant of *Desulfovibrio desulfuricans* ATCC 27774 [J]. Journal of Bacteriology, 1987, **169**(1): 1335-1337.
- [22] Matias P M, Pereira I A C, Soares C M, *et al.* Sulphate respiration from hydrogen in *Desulfovibrio* bacteria: a structural biology overview [J]. Progress in Biophysics and Molecular Biology, 2005, **89**(3): 292-329.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolizop-p-ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18 号, 邮政编码: 100085) 电话: 010-62941102, 010-62849343 传真: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国 内 定 价: 90.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行