

Effect of Electron Donor on Growth and Metabolism of Sulfate Reducing Bacteria

Shiyang Chen¹, Min Wu^{1*}, Zhiyuan Wang², Gongxia Li², Liuzhu Zhao¹, Binbin Ma¹

¹State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai

²Shanghai Municipal Engineering Design and Research Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai

Email: csyyangyi@163.com, *minwu@tongji.edu.cn

Received: Dec. 24th, 2018; accepted: Jan. 7th, 2019; published: Jan. 17th, 2019

Abstract

SRB can be used to treat sulfate-containing wastewater and has been widely used in the industrial wastewater treatment industry. In this paper, the growth and metabolism characteristics of SRB were studied, and the growth and metabolism of SRB using sodium acetate, glucose, sodium lactate, and ethanol as electron donors were investigated. The results show that SRB uses sodium acetate and glucose as mixed electron donors to produce the most H₂S gas and sulfide, and the growth is best.

Keywords

Sulfate-Reducing Bacteria, Hydrogen Sulfide, Electronicdonor

电子供体对硫酸盐还原菌生长代谢的影响

陈世阳¹, 吴敏^{1*}, 王致远², 李恭霞², 赵刘柱¹, 马彬彬¹

¹同济大学, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海

²上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海

Email: csyyangyi@163.com, *minwu@tongji.edu.cn

收稿日期: 2018年12月24日; 录用日期: 2019年1月7日; 发布日期: 2019年1月17日

摘要

SRB能够用于处理含硫酸盐废水, 在工业废水处理行业得到了广泛的应用。本文研究了SRB的生长代谢特性, 考察了SRB利用乙酸钠、葡萄糖、乳酸钠、和乙醇作为电子供体时的生长代谢情况。结果表明:

*通讯作者。

SRB利用乙酸钠和葡萄糖作为混合电子供体时产生 H_2S 气体和硫化物最多, 生长情况最好。

关键词

硫酸盐还原菌, 硫化氢, 电子供体

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

轻工、制药和化工等行业排放的废水普遍含有大量的硫酸盐, 若这些废水不经处理直接排入水体, 硫酸盐将被还原生成具有恶臭味和腐蚀性的硫化氢(H_2S)气体, 直接危害人体健康和水体生态平衡, 对于富含硫酸盐的废水处理是当前亟待解决的问题[1]。

硫酸盐还原菌(SRB, sulfate reducing bacteria)广泛分布在自然环境中, 是具有较强的生命力的一种厌氧异养细菌, 在无氧或极少氧条件下, 硫酸盐还原菌可把硫酸盐、亚硫酸盐、硫代硫酸盐等硫氧化物以及元素硫还原成 H_2S , 目前已知的硫酸盐还原菌种类达到 40 多种[2] [3]。利用 SRB 可处理含重硫酸废水、含重金属废水和含硫酸盐的废水, 成本低且效果好。在处理煤化工废水以及酸性矿山废水方面, 利用 SRB 对废水进行处理得到了广泛的关注。姜勇等考察了温度、pH、氯化钠以及重金属铜离子及亚铁离子对 SRB 还原硫酸盐的影响, 发现 SRB 最适温度为 $35^{\circ}C$, 最适 pH 为 7, 氯化钠质量分数大于 1%时明显抑制 SRB 生长, 高浓度重金属会显著抑制 SRB 生长[2]; 徐师等的研究同样佐证了重金属会抑制 SRB 生长的结论[4]。但是对于 SRB 的生长代谢机理的研究并不明确, 本文研究了不同电子供体对 SRB 生长代谢的影响, 为 SRB 还原硫酸盐的机理研究提供了基础。

2. 材料与方

2.1. 试验所用材料

2.1.1. 试验所用污泥

试验所用活性污泥取自上海市某污水处理厂二沉池。将污泥用自来水反复冲洗, 去除里面粗大固体颗粒, 然后将处理后的污泥倒入血清瓶密封保存于 $4^{\circ}C$ 冰箱中, 2 h 后将上层清液倾倒, 得到经重力沉降的污泥备用。驯化污泥至全变为黑色, 连续监测气态 H_2S 产量稳定达到 800 ppm 以上。

2.1.2. 试验用水

试验用水为人工模拟废水, 其中各物质组分浓度见表 1。

2.2. 试验方案

本试验为序批次式试验。以乙酸钠、葡萄糖、乳酸钠、乙酸钠和葡萄糖混合电子供体、乙醇为电子供体研究培养条件下 SRB 的生长代谢特征。在 500 mL 血清瓶中加入电子供体, 控制污泥浓度即 MLSS 在约 6000 mg/L, 加人工配水至 400 mL 刻度线, 加入电子供体后混合液的 COD 控制在 150 mg/L。持续通入 N_2 , 直至混合液的 ORP 降至 -150 mV 以下。将瓶口用橡胶塞密封后放入转速为 150 rpm、温度为 $35^{\circ}C$ 的恒温摇床中分别培养 12, 24, 36, 48 和 60 h, 到达预定培养时间后, 取出培养瓶, 先测定 H_2S

Table 1. Composition and content of experimental water
表 1. 实验用水组分及含量

组分	浓度(mg/L)	组分	浓度(mg/L)
CaCl ₂ ·2H ₂ O	11	NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O	76
NH ₄ Cl	59	KCl	36
Na ₂ SO ₄	88.75	MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.015
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.03	H ₃ BO ₃	0.09
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.06	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.006
NiCl ₂ ·6H ₂ O	0.009	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.009
NaSeO ₃ ·5H ₂ O	0.009	Na ₂ WO ₄ ·2H ₂ O	0.015

气体浓度,然后将培养瓶迅速转移至厌氧箱中,在厌氧箱中加药测定总硫化物(水中),取样品上清液经 0.45 μm 滤膜,滤液用于总有机碳(TOC)的测定。每 3 组为平行样,数据取平均值并计算标准偏差。

2.3. 测定方法

H₂S 气体浓度通过 ADSK-4 硫化氢气体浓度检测仪测定;总硫化物的测定使用哈希 DR2800 便携式分光光度计测定;TOC 采用岛津 TOC 仪测定。

3. 结果与讨论

3.1. 电子供体种类对 SRB 厌氧产生 H₂S 气体的影响

如图 1 所示,电子供体种类对 SRB 厌氧产生 H₂S 气体有显著影响。SRB 利用乙酸钠和葡萄糖混合电子供体产生的 H₂S 气体最多,在 60 h 反应时间内达到 957 ppm;其次为乳酸钠,SRB 利用葡萄糖作电子

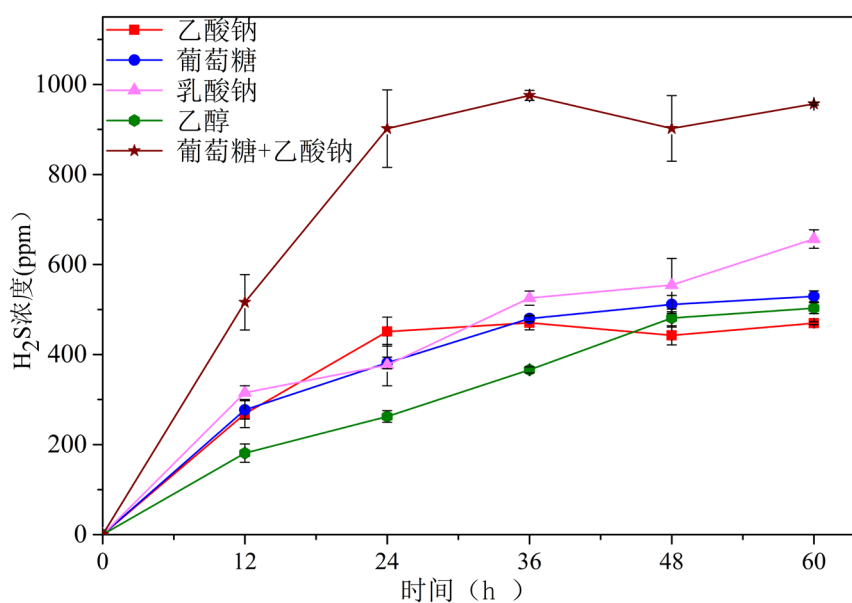


Figure 1. The concentration of hydrogen sulfide gas generated by SRB under anaerobic conditions using different electron donors

图 1. SRB 利用不同电子供体厌氧产生硫化氢气体浓度

供体在 60 h 反应时间内产生 H_2S 气体 656.67 ppm; 产生 H_2S 气体浓度最小的电子供体为乙酸钠, SRB 在 60 h 反应时间内产生 H_2S 气体 469.67 ppm; 葡萄糖、乙醇作电子供体时, 该数据分别为 529.33 ppm 和 503.36 ppm。按照 SRB 在 60 h 反应时间内产生 H_2S 气体浓度的大小, 电子供体的排序为: 乙酸钠+葡萄糖>乳酸钠 > 葡萄糖 > 乙醇 > 乙酸钠。不论 SRB 利用何种电子供体, 其厌氧产生的 H_2S 气体浓度总体上呈现随反应时间增加而增加的趋势, 并在 60 h 达到最高。

虽然 SRB 产生的 H_2S 气体浓度总体上呈现随反应时间增加而增加的趋势, 但 SRB 利用不同电子供体时, 同一反应阶段 H_2S 的产生速率各有不同。如表 2 所示, SRB 利用 5 种电子供体高速率产生 H_2S 气体均集中在 0~12 h 和 24~36 h 反应阶段, 后三个反应阶段产 H_2S 速率变化较为平缓。其中, SRB 利用葡萄糖和乙酸钠混合电子供体时, H_2S 在 0~12 h 和 12~24 h 反应阶段的产生速率为 5 种电子供体中最高, 分别为 43 ppm/h 和 32.17 ppm/h。36~48 h 反应阶段, SRB 乙酸钠、乙酸钠和葡萄糖混合电子供体产生 H_2S 速率出现负值, 可能是因为溶液中 H_2S 的电离平衡向右移动导致逸出水面 H_2S 再次溶于水参加电离。

Table 2. Rate of hydrogen sulfide gas generated by SRB under anaerobic conditions using different electron donors
表 2. SRB 利用不同电子供体厌氧产生硫化氢气体速率(ppm/h)

反应阶段	乙酸钠	葡萄糖	乳酸钠	乙醇	乙酸钠 + 葡萄糖
0~12 h	22.36	23.08	26.28	15.08	43.00
12~24 h	15.22	8.69	5.11	6.78	32.17
24~36 h	1.61	8.22	12.39	8.64	6.14
36~48 h	-2.31	2.61	2.42	9.58	-6.11
48~60 h	2.25	1.50	8.53	1.83	4.56

3.2. 电子供体种类对 SRB 厌氧产生总硫化物(水中)的影响

SRB 利用不同电子供体厌氧产生总硫化物浓度如图 2 所示(总硫化物包括 S^{2-} 、 HS^- 和溶解态 H_2S)。由图 2 可知, SRB 利用不同种类电子供体时, 所产生总硫化物浓度存在显著差异。SRB 利用乙酸钠和葡萄糖混合电子供体在整个反应过程和不同反应阶段产生的总硫化物浓度均为 5 种电子供体中最高, 这与 H_2S 气体数据保持一致: 5 种电子供体中产生气态 H_2S 最多的也是乙酸钠和葡萄糖混合电子供体。SRB 利用乙酸钠和葡萄糖混合电子供体在 12、24、36、48、60 h 内分别产生总硫化物 1526.67、2356.97、2346.67、2463.33、2493.33 $\mu\text{g/L}$ 。在 60 h 反应时间内, SRB 利用乳酸钠产生的总硫化物浓度仅次于乙酸钠和葡萄糖混合电子供体, 为 2263.33 $\mu\text{g/L}$, 这也和 H_2S 气体数据一致; 产生总硫化物浓度最小的电子供体为乙醇, SRB 在 60 h 反应时间内产生总硫化物 1150 $\mu\text{g/L}$; 葡萄糖、乙酸钠作电子供体时, 该数据分别为 1133.33 $\mu\text{g/L}$ 和 1290 $\mu\text{g/L}$ 。按照 SRB 在 60 h 反应时间内产生总硫化物浓度的大小, 电子供体的排序为: 乙酸钠 + 葡萄糖 > 乳酸钠 > 葡萄糖 > 乙酸钠 > 乙醇。SRB 利用乙酸钠产生的气态 H_2S 浓度低于乙醇, 但产生的总硫化物浓度却略高于乙醇, 这可能是因为乙酸钠为强碱弱酸盐, 水解显碱性, 消耗了一部分氢离子, 使得逸出水面的 H_2S 减少, 大部分硫化物以离子态存在于水中。不论 SRB 利用何种电子供体, 其厌氧产生的总硫化物浓度总体上呈现随反应时间增加而增加的趋势, 并在 60 h 达到最高。除稍有差别的乙酸钠和乙醇外, 按照 SRB 厌氧产生总硫化物浓度和按照气态 H_2S 浓度高低的电子供体排序均保持一致。

虽然 SRB 产生的总硫化物浓度总体上呈现随反应时间增加而增加的趋势, 但 SRB 利用不同电子供体时, 不同反应阶段产生硫化物的比重不同。如表 3 所示, SRB 利用 5 种电子供体所产生的总硫化物主要集中在 0~12 h, 除乙醇外, SRB 利用其余电子供体在 0~12 h 产生的总硫化物占整个反应阶段的 50% 以上, 乙酸钠和混合电子供体在 12~24 h 产生的总硫化物占整个反应阶段的比重依然在 30% 以上, 其余电

子供体在后续反应阶段均未超过 25%。

SRB 厌氧产生的硫化物包括 S^{2-} 、 HS^- 和溶解态 H_2S ，除了部分以气态 H_2S 的形式逸出水面外，其余硫化物均随着反应时间不断累积。累积的总硫化物会通过电离、平衡移动等原因引起混合液 pH 的下降(初始 pH 为 7.0)，而 SRB 最适生长 pH 条件为 7~8。随着反应的进行，电子供体量不断减小，pH 逐渐降低，混合液的条件已无法为 SRB 的生长代谢提供良好条件，所以在 24h 之后，SRB 的代谢效率即厌氧还原 SO_4^{2-} 为 S^{2-} 的效率逐渐下降，导致 SRB 利用 5 种电子供体产生的总硫化物均集中在 0~24 h，而后续反应阶段产生的总硫化物的速率明显放缓。另外，硫化物的累积在一定程度上会对 SRB 本身造成一定的毒害作用，这也是 SRB 利用 5 种电子供体在 24 h 之后的反应阶段产生的总硫化物比重均显著下降的原因之一。

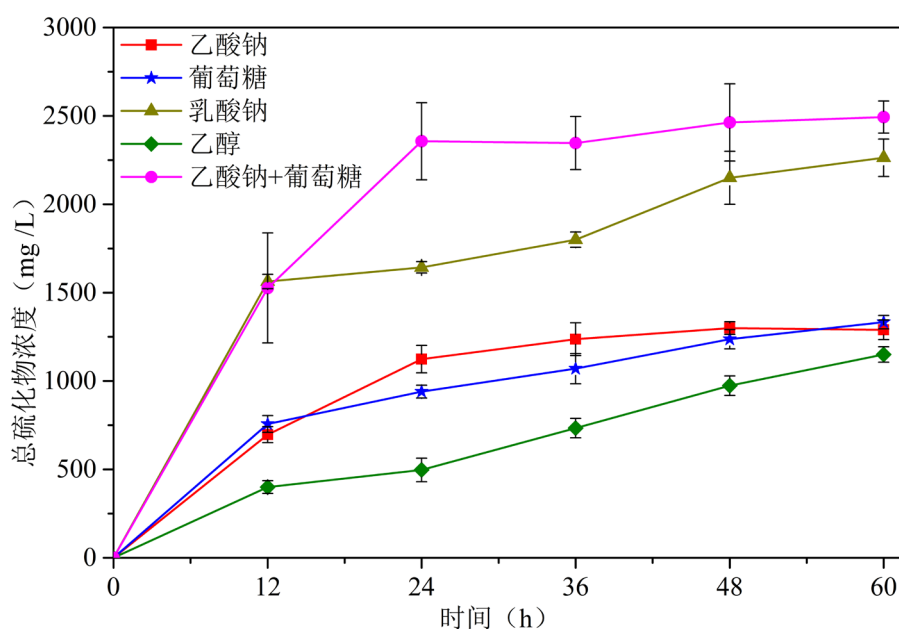


Figure 2. The concentration of total sulfide generated by SRB under anaerobic conditions using different electron donors
图 2. SRB 利用不同电子供体厌氧产生总硫化物浓度

Table 3. The ratio of the amount of sulfide produced by SRB under anaerobic conditions using different electron donors in different reaction stages to the total amount of sulfide produced during the reaction time

表 3. SRB 在不同反应阶段利用不同电子供体厌氧产生硫化物量占反应时间内产生硫化物总量的比例

反应阶段	所占比例(%)				
	乙酸钠	葡萄糖	乳酸钠	乙醇	乙酸钠 + 葡萄糖
0~12 h	53.59	56.75	69.07	34.78	61.23
12~24 h	32.82	13.75	3.53	8.41	33.29
24~36 h	8.72	9.75	6.92	20.58	0
36~48 h	4.87	12.50	15.46	20.87	4.68
48~60 h	0	7.25	5.01	15.36	1.20

3.3. SRB 对不同电子供体的利用

由于试验所用 5 种电子供体均为含碳有机物且所配试验用水中不含其它含碳有机物，以总有机碳 (TOC) 浓度计量电子供体量，SRB 对不同电子供体的利用情况如图 3 所示。由图 3 可知，SRB 对不同电

子供体的利用情况存在显著差异。随着反应时间的推移, SRB 在不断利用电子供体, 因此 TOC 浓度随反应时间的增加而降低。反应结束后, 剩余乙酸钠和葡萄糖混合电子供体最少, TOC 浓度为 7.79 mg/L, 同样 SRB 利用乙酸钠和葡萄糖混合电子供体时所产生的气态 H_2S 和总硫化物均为 5 种电子中最高, 表明 SRB 对乙酸钠和葡萄糖的利用程度最高。SRB 对乙酸钠利用程度仅次于混合电子供体, 乙酸钠对应的反应结束时 TOC 浓度为 12.25 mg/L, 但对照图 1 和图 2 中的数据, SRB 利用乙酸钠产生的气态 H_2S 和总硫化物在 5 种电子供体中分别为最少和第二少, 这是由于乙酸钠属于一种快速可生物降解有机物, 实验所用的 SRB 污泥中, 不可避免的含有其他种类微生物, 这些微生物的代谢生长同样需要电子供体。因此被利用乙酸钠所产生的电子并未全部用于 SRB 厌氧还原 SO_4^{2-} 产生 S^{2-} , 才导致大部分乙酸钠被利用但气态 H_2S 和总硫化物的产量不高的现象。SRB 对乙醇的利用程度最低, 反应结束时其对应 TOC 浓度为 29.53 mg/L, 剩余量为 5 种电子供体种最高, 对照上述数据, SRB 利用乙醇时所产生的气态 H_2S 和总硫化物浓度分别为第二少和最少, 这表明 SRB 不能很好利用乙醇这种电子供体, 从而无法获取足够的电子推动还原 SO_4^{2-} 的反应进行, 最终导致乙醇剩余量较高, 而气态 H_2S 和总硫化物产量低。SRB 利用葡萄糖和乳酸钠时, 反应结束时剩余 TOC 浓度分别为 14.62 mg/L 和 16.89 mg/L。

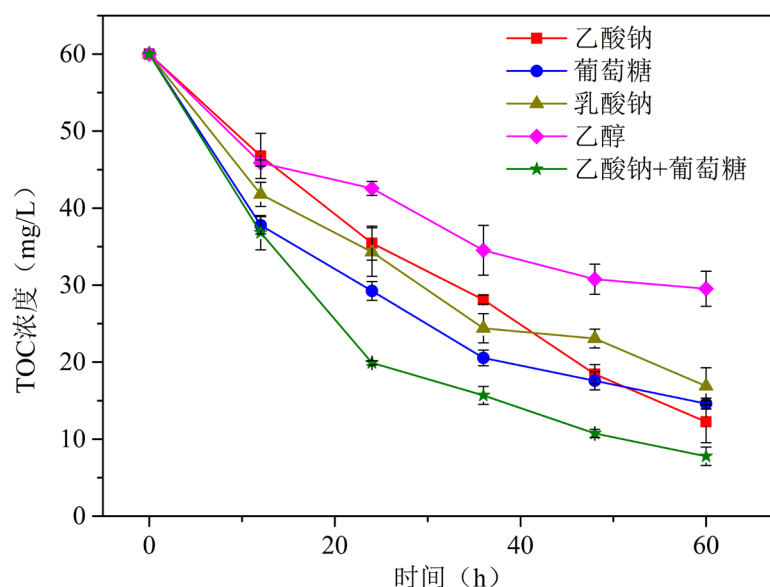


Figure 3. Utilization of different electron donors by SRB in different reaction stages
图 3. SRB 在不同反应阶段对不同电子供体的利用情况

SRB 在整个反应过程中对不同电子供体的总利用率如图 4 所示。按照电子供体利用率高低排序: 乙酸钠 + 葡萄糖 > 乙酸钠 > 葡萄糖 > 乳酸钠 > 乙醇。其中乙酸和葡萄糖混合电子供体的利用率高于其余电子供体, 达到 87.02%。乙醇的利用率为 5 种电子供体中最低, 为 64.54%。葡萄糖、乙酸钠和乳酸钠的总利用分别为 77.31%, 79.58% 和 71.84%。除乙酸钠外, 其余电子供体的利用率基本和对应的 SRB 利用该种电子供体时产生的气态 H_2S 和总硫化物量呈正比。

在高硫酸盐废水处理中, 为提高硫酸盐还原率通常使用双基质即混合电子供体来提高 SRB 的活性。Ploprasert 和 Hass 发现使用乙酸钠和葡萄糖双基质会显著提高 SRB 的活性, 并大幅度提高硫酸盐的还原率, 同时由于 SRB 对电子供体的高利用率出水 COD 极低。本章的实验结果也验证了上述研究成果, 在五种电子供体中, SRB 对乙酸钠和葡萄糖混合电子供体利用率最高, 同样利用乙酸钠和葡萄糖混合电子供体产生的气态硫化氢和总硫化物也最多[5]。SRB 可利用超过 100 种有机物作为电子供体, 在废水脱硫

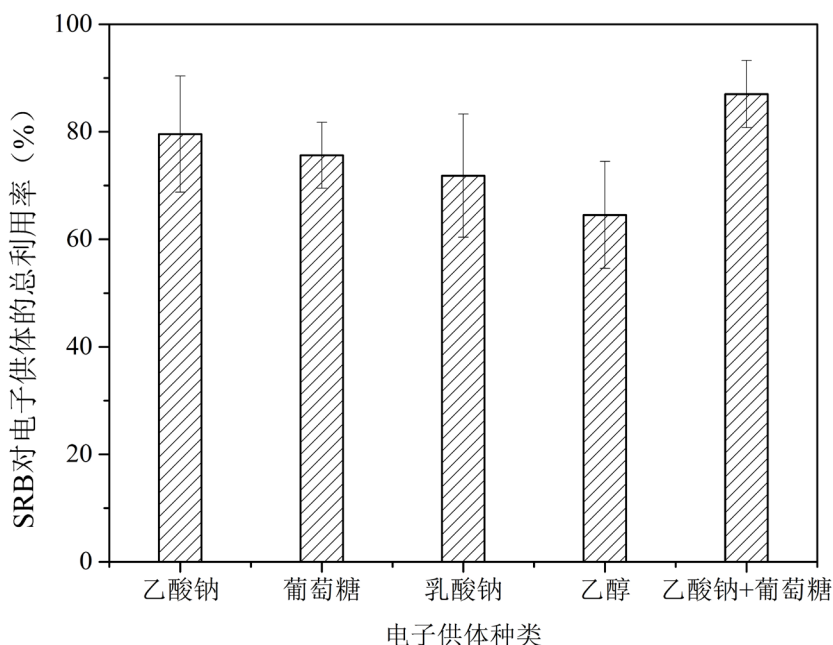


Figure 4. Total utilization of electronic donors of SRB

图 4. SRB 对电子供体的总利用率

处理中, 优先选用乳酸盐作为电子供体, 因为乳酸盐满足多种 SRB 生存所需, 能够促进微生物系统中的多样性以及保持系统的稳定性[6]。Oyekolan 以动力学方法研究了以乳酸盐为电子供体的硫酸盐生物还原过程的多种影响因素, 结果表明硫酸盐浓度会在很大程度上影响 SRB 对乳酸盐类电子供体的利用[7]。本实验数据表明, SRB 对乙酸钠和葡萄糖的利用率高于乳酸钠, 利用乙酸钠和葡萄糖产生的硫化物也高于乳酸钠。乙醇在高硫酸盐负荷废水和重金属废水处理中常用作 SRB 的电子供体, 可使硫酸盐的还原率达到 80%以上[8]。但 Yamashita 等人通过研究发现, 以乙醇作为 SRB 的电子供体存在利用率不高、出水 COD 偏高和成本偏高等问题[9], 本实验数据也同样表明 SRB 对乙醇的利用率相对其余电子供体较低。曹俊雅等人通过实验研究了 SRB 对包括挥发性脂肪酸盐类在内的多种电子供体的利用率, 结果表明以乳酸钠作电子供体时的硫酸盐还原率要比乙酸钠高出 20%, 这与图 1~3 中数据相吻合: 虽然反应结束后乙酸钠剩余量低于乳酸钠, 但 SRB 在以乳酸钠作电子供体时, 气态硫化氢和总硫化物的生成量要高于乙酸钠。

Table 4. The ratio of the amount of electron donor used by SRB in different reaction stages to the total electron donor

表 4. SRB 在不同反应阶段所利用电子供体量占总电子供体量的比例

反应阶段	所占比例(%)				
	乙酸钠	葡萄糖	乳酸钠	乙醇	乙酸钠 + 葡萄糖
0~12 h	22.03	37.05	30.35	23.55	38.64
12~24 h	18.88	14.21	12.48	7.20	28.18
24~36 h	12.24	14.49	16.49	18.87	7.04
36~48 h	16.10	4.94	2.23	10.91	8.23
48~60 h	10.32	6.61	10.29	4.01	4.93

表 4 更直观的反映了 SRB 在不同反应阶段对电子供体的利用情况: 不论何种电子供体, SRB 主要在

0~12 h 和 12~24 h 两个反应阶段进行利用。SRB 在 0~12 h 和 12~24 h 利用的乙酸钠和葡萄糖混合电子供体占整个反应阶段利用的 50%以上, 乳酸钠和葡萄糖也被 SRB 在 0~12 h 和 12~24 h 大量利用, 与之相对应的是: SRB 利用电子供体在 0~12 h 和 12~24 h 产生气态 H_2S 的速率高, 产生的总硫化物占总反应时间的比例大。

4. 结论

SRB 对 5 种电子供体的利用率大小排序为: 乙酸钠 + 葡萄糖 > 乙酸钠 > 葡萄糖 > 乳酸钠 > 乙醇; SRB 利用不同电子供体产生 H_2S 气体浓度高低排序为: 乙酸钠 + 葡萄糖 > 乳酸钠 > 葡萄糖 > 乙醇 > 乙酸钠; SRB 利用不同电子供体产生总硫化物浓度高低排序为: 乙酸钠 + 葡萄糖 > 乳酸钠 > 葡萄糖 > 乙酸钠 > 乙醇。综合来看, SRB 对乙酸钠和葡萄糖混合电子供体的利用率最高, 利用该电子供体时所产生的气态 H_2S 和总硫化物均比其他电子供体高。0~12 h 和 12~24 h 为 SRB 厌氧产生 H_2S 的关键阶段: 在这两个反应阶段, SRB 利用的电子供体最多, 产生的 H_2S 的速率最快, 产生的总硫化物最多。

参考文献

- [1] 张鸿郭, 林洁松, 吴梦杰, 温项斯, 陈光仕, 邓康蓝, 陈梓莹, 陈永亨, 陈迪云. 内聚乙醇固定化硫酸盐还原菌同步处理废水中硫酸盐和铬[J]. 环境污染与防治, 2017, 39(10): 1051-1053+1062.
- [2] 姜勇, 李亚, 陈伟燕, 赵曙光, 耿翠玉, 迟娟. 煤化工废水中影响硫酸盐还原菌还原特性的因素[J]. 煤炭加工与综合利用, 2018(10): 38-42.
- [3] 胡凯光, 汪爱河, 冯志刚, 史文革, 熊日新. 硫酸盐还原菌及在处理硫酸盐废水中的作用[J]. 铀矿冶, 2007, 26(1): 48-52.
- [4] 徐师, 张大超, 吴梦, 肖隆文. 硫酸盐还原菌在处理酸性矿山废水中的应用[J]. 有色金属科学与工程, 2018, 9(1): 92-97.
- [5] Polprasert, C. and Haas, C.N. (1995) Effect of Sulfate on Anaerobic Processes Fed with Dual Substrates. *Water Science & Technology*, **31**, 101-107. <https://doi.org/10.2166/wst.1995.0349>
- [6] Kaksonen, A.H., Plumb, J.J., Franzmann, P.D. and Puhakka, J. (2004) A. Simple Organic Electron Donors Support Diverse Sulfate-Reducing Communities in Fluidized-Bed Reactors Treating Acidic Metal- and Sulfate-Containing Wastewater. *FEMS Microbiology Ecology*, **47**, 279. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(03\)00284-8](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(03)00284-8)
- [7] Oyekola, O.O., Hille, R.P.V. and Harrison, S.T.L. (2010) Kinetic Analysis of Biological Sulphate Reduction Using Lactate as Carbon Source and Electron Donor: Effect of Sulphate Concentration. *Chemical Engineering Science*, **65**, 4771-4781. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2010.05.014>
- [8] Kousi, P., Remoundaki, E., Hatzikioseyan, A., Battagliabrunet, F., Joulain, C., Kousteni, V. and Tsezos, M. (2011) Metal Precipitation in an Ethanol-Fed, Fixed-Bed Sulphate-Reducing Bioreactor. *Journal of Hazardous Materials*, **189**, 677-684. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.083>
- [9] Yamashita, T., Yamamoto-Ikemoto, R. and Zhu, J. (2011) Sulfate-Reducing Bacteria in a Denitrification Reactor Packed with Wood as a Carbon Source. *Bioresource Technology*, **102**, 2235-2241. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.015>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2332-8010，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：wpt@hanspub.org