

生活污水典型有机污染物与 ASM_s 模型水质特性参数相关性研究

黄满红^{1,2}, 李咏梅^{2*}, 顾国维²

(1. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620; 2. 同济大学环境科学与工程学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 研究了生活污水中典型有机污染物糖类、蛋白质、油脂以及直链烷基苯磺酸钠(LAS)对生活污水中 COD 的贡献率, 采用硝酸盐利用速率法(NUR)测定了活性污泥数学模型(ASM_s)中的有机水质特性参数, 分析了单一糖类、蛋白质、油脂、LAS 对有机水质特性参数的影响, 并给出了生活污水中这 4 种有机污染物与 ASM_s 有机水质特性参数 S_s 、 X_s 、 S_1 、 X_1 的相关关系。结果表明, 反硝化条件下异养菌产率系数为 0.683; 蛋白质、糖类、油脂和 LAS 分别占 COD 的 24%~35%、17%~35%、5.78%~10.56% 和 3.77%~7.23%, 是污水中 COD 的主要化学组成成分; 该污水中的快速生物降解物质占总 COD 的 22%~29%, 慢速可生物降解物质占 29%~38%; 生活污水中糖类、蛋白质、油脂、LAS 这 4 种典型有机物的浓度与 ASM_s 的水质特性参数 S_s 、 X_s 、 S_1 、 X_1 的相关性较好, 相关系数 > 0.9。

关键词: 典型有机污染物; 活性污泥数学模型(ASM_s); 相关关系

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2009)05-1499-07

Relationship Between Typical Organic Matters in Domestic Wastewater and Water Characteristic Parameters in Activated Sludge Models

HUANG Man-hong^{1,2}, LI Yong-mei², GU Guo-wei²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The contribution of typical organic matters such as proteins, sugars, lipids and linear alkylbenzene sulfonate (LAS) to COD of the domestic wastewater was investigated. Nitrate utilization rate was used to determine wastewater characteristic parameters. Relationship between these typical organic matters and wastewater characteristic parameters (S_s , X_s , S_1 , X_1) in activated sludge models were investigated. The results showed that YH of activated sludge under denitrifying conditions was 0.683. Proteins, sugars, lipids and LAS accounted for 24%~35%, 17%~35%, 5.78%~10.56% and 3.77%~7.23% of the total COD, respectively. It indicated that these four pollutants were the main COD source in the domestic wastewater. SS and XI were in the ranges of 22%~29% and 29%~38% of the total COD, respectively. Concentrations of the four typical target organic matters (proteins, sugars, lipids and LAS) correlated well with the wastewater characteristic parameters (S_s , X_s , S_1 , X_1) of activated sludge models (ASM_s) with the correlative coefficients above 0.9.

Key words: typical organic matter; activated sludge models(ASM_s); relationship

为指导活性污泥系统的设计和高效低耗运行, 国际水质协会分别于 1987、1995、1999 年推出活性污泥 1 号(ASMI)、2 号(ASM2)及 3 号(ASM3)数学模型^[1~3]。其中水质特性参数表征了进水中总 COD 的组成, 总 COD 可用水质特性参数(以 COD 计)表示为^[1]:

$$\text{COD}_{\text{总}} = S_s + S_1 + X_s + X_1 + X_A + X_H \quad (1)$$

式中, $\text{COD}_{\text{总}}$ 表示水中总 COD 浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); S_s 表示可溶性快速生物降解有机物($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); S_1 表示可溶性不可生物降解(惰性)有机物($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); X_s 表示悬浮性可慢速生物降解有机物($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); X_1 表示悬浮性不可生物降解(惰性)有机物($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); X_A 表

示自养菌($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); X_H 表示异养菌($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。在实际工作中, X_A 和 X_H 常常忽略不计。这种划分方式很好地反映了生化反应中电子传递的本质, 但是测试过程较为复杂^[4~9]。

在活性污泥数学模型(ASM_s)逐渐发展的同时, 生活污水组分的划分标准也逐渐细化, 推动了对更为“微观”物质的研究, 也加深了对污水处理过程的

收稿日期: 2008-08-03; 修订日期: 2008-10-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(50138010, 50578114); 东华大学基金项目(113-10-0044018); 上海市重点学科建设项目(B604); 东华大学环境科学与工程学院重点学科建设开放课题基金项目; 溢达棉纺织染整研究基金项目(2005RD001)

作者简介: 黄满红(1978~), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为水污染防治, E-mail: egghmh@163.com

* 通讯联系人, E-mail: liyongmei@tongji.edu.cn

理解和认识. 已有研究表明^[10], 污水中 50% ~ 60% 的溶解性有机碳是蛋白质、油脂、糖类和 LAS, 它们也是 COD 的主要组成部分. Confer 等^[11] 研究了生活污水中大分子物质的降解规律及分子分布特性, 发现蛋白质约占生活污水中总有机碳的 8% ~ 12%; Ebru 等^[12] 对以 S_s 、 X_s 、 S_1 、 X_1 的粒径分布为污染物生物降解性能判断依据的可行性进行了分析. 目前关于生活污水的化学分子组成与 ASM_s 模型水质特性参数间相互关系的研究相对较少.

了解污水中蛋白质、油脂、糖类和 LAS 浓度与 ASM_s 模型水质特性参数之间的关系, 不仅可提供污水中有机物的详细化学组成, 而且可为更深刻地理解污水处理过程中碳源、氮源的转化提供帮助. 本研究对生活污水中的蛋白质、糖类、油脂和 LAS 等物

质和数学模型水质特性参数进行测定, 对比分析它们之间的相关性, 并试图建立上述物质与 ASM_s 水质特性参数之间的联系, 从而简化 ASM_s 水质特性参数的测试方法, 强化 ASM_s 模型的预测能力.

1 材料与方法

1.1 试验用水和活性污泥

研究所用生活污水取自上海某大型居民新村生活污水收集站, 其水质特性参数如表 1 所示.

本实验用活性污泥取自实验室运行的硝化-反硝化系统(缺氧-好氧脱氮)中好氧池的活性污泥, 该系统混合液回流比为 100%, 泥龄为 14 d, 污泥回流比为 75%, 缺氧池和好氧池停留时间分别为 1.4 h 和 4.8 h.

表 1 生活污水主要水质指标¹⁾/mg·L⁻¹

Table 1 Main water characteristics of the domestic wastewater/mg·L⁻¹

COD	TOC	SS	TN	TP	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	pH
285~ 488 (369)	124 5~ 185 3 (150 3)	110~ 185. 3 (150 0)	41~ 58. 3 (48. 4)	5 8~ 6. 8 (6. 3)	31. 2~ 42. 9 (36 9)	0~ 0. 06 (0. 03)	0~ 1. 50 (0. 49)	6. 9~ 7. 5 (7. 2)

1) 括号中数值为研究期间 7 次测试结果的均值

1.2 分析方法

1.2.1 ASM_s 水质特性参数测试方法

(1) S_s 和 X_s 的测定 由于在 A/A/O 工艺中反硝化作用是第一步氧化过程, 所以采用硝酸盐利用速率法(NUR)测定 S_s 和 X_s 的浓度^[13]. 在缺氧序批式试验中, 通常会发生硝酸盐还原的 3 个线性阶段: 首先是以易降解的 S_s 作为碳源的反硝化, 称为第 1 阶段, 硝酸盐利用速率(即反硝化速率 r_D) 最快; 随后 r_D 开始降低, 是由经水解的 X_s 作为碳源的反硝化, 称为第 2 阶段; 最后是内源反硝化, 称为第 3 阶段, r_D 最低. 根据各阶段硝态氮的反硝化数量, 采用公式(2)和公式(3) 可以计算出废水中的可生物降解有机物 S_s 和 X_s ^[13].

$$S_s = \frac{2.86 \Delta(\text{NO}_3^- - \text{N})_1 - 1.72 \Delta(\text{NO}_2^- - \text{N})_2}{1 - Y_H} \times \frac{1}{f_{\text{ww}}}$$

(2)

$$X_s = \frac{2.86 \Delta(\text{NO}_3^- - \text{N})_2 - 1.72 \Delta(\text{NO}_2^- - \text{N})_2}{1 - Y_H} \times \frac{1}{f_{\text{ww}}}$$

(3)

式中, Y_H 为异养菌产率系数, f_{ww} 为充水比, $\Delta(\text{NO}_x^- - \text{N})_1$ 为第 1 阶段消耗量, $\Delta(\text{NO}_x^- - \text{N})_2$ 为第 2 阶段消耗量.

(2) S_1 的测定 S_1 来源于进水携带或 X_s 水解

过程产物^[14]. 研究表明可以采用厌氧/缺氧/好氧(A/A/O) 系统出水溶解性 COD 浓度的 95% 作为系统中 S_1 ^[15]. 本试验中 A/A/O 系统厌氧池与缺氧池有效容积均为 7 L, 好氧池有效容积为 21 L, 停留时间为 8 h, 泥龄为 15 d, 污泥回流比和混合液回流比均为 100%.

(3) X_1 的测定 通过物料平衡的方法来估测 X_1 , 即根据公式(4) 计算求得.

$$X_1 = \text{COD}_{\text{总}} - S_s - X_s - S_1$$

(4)

1.2.2 反硝化条件下异养菌产率系数 Y_H 的测定方法

从式(2)和式(3) 可以看出, 要测定 S_s 和 X_s 的浓度需测定硝化-反硝化系统中活性污泥在缺氧条件下的异养菌产率系数 Y_H . Y_H 通过瞬时投加乙酸盐确定, 其方法是将所配好的乙酸盐以瞬间投加到处于内源代谢阶段的活性污泥中, 由于乙酸盐属于快速生物降解物质, 系统中硝态氮还原过程仅包括 2 个阶段(第 1、3 阶段).

需要说明的是, 由于硝态氮中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的氮价位不同, 为便于计算, 以消耗电子数相同为原则将 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 折算成等量的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$, 即定义等量 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度和 0.6 倍亚硝氮 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度之和.

根据等量硝态氮的改变量,采用公式(5)^[13]计算异养菌产率系数 Y_H .

$$1 - Y_H = \frac{2.86\Delta(\text{NO}_3^- - \text{N} + 0.6 \times \text{NO}_2^- - \text{N})_1}{C_{AC}} \quad (5)$$

式中, C_{AC} 为混合后乙酸钠浓度.

1.2.3 其他检测项目

TN、TOC 测定采用 TOC/TN 分析仪(TOG-Vcpn, 日本 Shimadzu); 糖类测定采用蒽酮比色法^[16,17], 以葡萄糖为标准物; 蛋白质测定采用 Folin-酚法^[18,19], 以牛血清白蛋白为标准物; LAS 测定采用液相色谱法^[19,20]; 酯化后油脂测定采用气相色谱法^[21]; TP、COD、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 测定采用国家标准方法^[22].

1.3 糖类、蛋白质、油脂、LAS 和模型 COD 组分关系试验

选取直链淀粉、牛血清白蛋白、油酸甲酯和 LAS 作为本研究的典型有机物, 根据其在生活污水中的浓度范围^[10], 对相应浓度范围的糖类、蛋白质、油脂和 LAS 的 S_s 、 X_s 、 S_1 、 X_1 进行测定. 在 4~5 组 1 L 广口密闭玻璃瓶分别装入 500 mL 污泥混合液, 以 125 r/min 的转速搅拌, 待溶解氧浓度低于 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 后分别加入 300 mL 不同浓度的待测物质(其中淀粉浓度分别为 50、100、150、200、250 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 牛血清白蛋白浓度分别为 50、100、150、200、250 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 油酸甲酯浓度分别为 25、50、75、100、125 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, LAS 分别为 5、15、25、50 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 分别测定其 S_s 、 X_s 、 S_1 、 X_1 , 通过线性回归得到糖类、蛋白质、油脂、LAS 和模型 COD 组分关系.

2 结果与讨论

2.1 反硝化条件下异养菌产率系数 Y_H 的测定

取 300 mL 乙酸钠溶液($\text{COD } 350 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 加入到 500 mL 污泥混合液中(即充水比为 0.375), 测定其硝态氮的改变量. 其硝酸盐利用速率曲线如图 1 所示. 可以看到, 其中仅有 2 条直线, 斜率较高段表示由乙酸盐为碳源的反硝化, 斜率较低段表示内源反硝化.

根据公式(5), 可计算得反硝化条件下异养菌缺氧产率系数为 Y_H 为 0.683.

2.2 ASM_s 模型水质特性参数

2.2.1 S_s 、 X_s 浓度

取 500 mL 污泥混合液装入 1 L 广口密闭玻璃瓶中, 以 125 r/min 的转速搅拌, 待溶解氧浓度低于 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 后, 加入 300 mL 污水, 定时取样测定硝

态氮浓度, 得硝态氮利用速率曲线如图 2 所示.

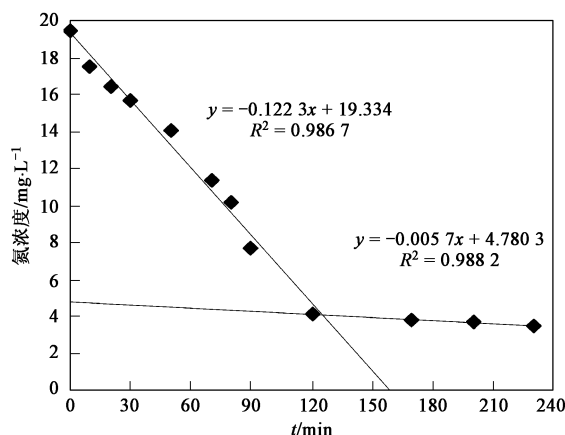


图1 NUR法测定 Y_H

Fig. 1 Determination of Y_H by NUR

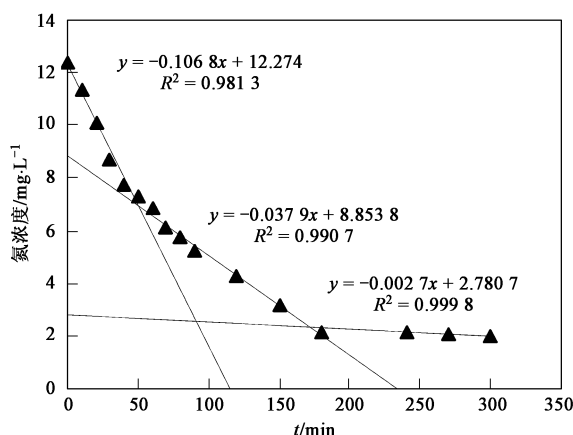


图2 NUR法测定 S_s 、 X_s

Fig. 2 Determination of S_s and X_s by NUR

由图 2 可知, 最初 40 min 内反硝化速率最快, 为第 1 阶段; 从 40~190 min 间, 反硝化速率有所降低, 为第 2 阶段; 190 min 后进入内源反硝化阶段, 即第 3 阶段. 因此, 可得第 1 阶段等量硝态氮反硝化量 $\Delta(\text{NO}_3^- - \text{N} + 0.6 \times \text{NO}_2^- - \text{N})_1$ 为 $3.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 第 2 阶段等量硝态氮反硝化量 $\Delta(\text{NO}_3^- - \text{N} + 0.6 \times \text{NO}_2^- - \text{N})_2$ 为 $6.07 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 则根据式(2)和式(3)可计算得 S_s 、 X_s 分别为 $81.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $131.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 分别相当于总 COD 浓度的 22.70% 和 36.56%.

2.2.2 S_1 、 X_1 浓度

实验测得 A/A/O 系统出水溶解性 COD 为 $54.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 S_1 为 $54.9 \times 0.95 = 52.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

根据物料衡算, 得 $X_1 = 359 - 81.51 - 131.25 - 52.16 = 94.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

2.3 糖类、蛋白质、油脂、LAS 和模型 COD 组分的关系

已有研究发现城市污水中有机物种类虽多^[23-25],但糖类、蛋白质、油脂和 LAS 通常占到 COD

总量的 50%~70%,是有机物的主要成分.

2.3.1 糖类和模型 COD 组分的关系

通过对 5 个不同浓度的直链淀粉溶液测定其相应的 S_s 、 X_s 、 S_i 、 X_i , 其结果如表 2 和图 3 所示.

表 2 各浓度下糖类与模型组分关系/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 2 Relationship between sugars of different concentrations and water characteristic parameters/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$						
指标	测试 1	测试 2	测试 3	测试 4	测试 5	拟合曲线
淀粉	50.0	100.0	150.0	200.0	250.0	—
COD	53.5	107.0	160.5	214.0	267.5	—
S_s	11.5	22.9	34.4	45.8	57.3	$S_s = 0.2141c_{\text{淀粉}}, R \approx 1$
X_s	31.0	61.9	92.9	123.9	154.8	$X_s = 0.5789c_{\text{淀粉}}, R \approx 1$
S_i	5.9	11.9	17.8	23.7	29.7	$S_i = 0.0962c_{\text{淀粉}}, R \approx 1$
X_i	5.1	10.3	15.4	20.6	25.7	$X_i = 0.1109c_{\text{淀粉}}, R \approx 1$

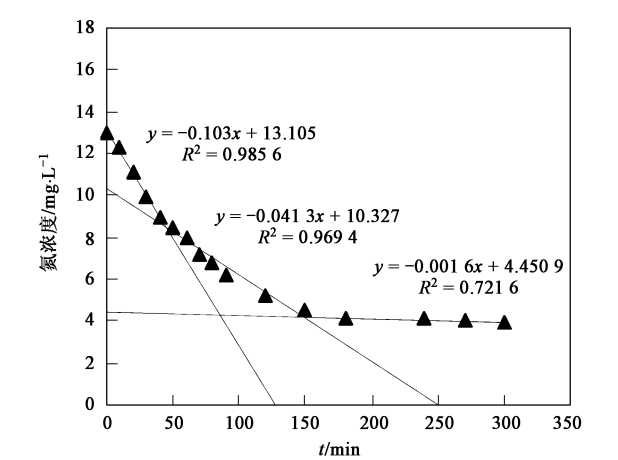


图 3 糖类 NUR 曲线图($250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

Fig. 3 NUR Curves of sugars at concentration of $250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

质特性参数之间均存在非常好的相关关系, S_s : S_i : X_s : X_i 约为 2.6:1:1, 表明淀粉是一种慢速生物降解物质, 这与 Haldane 等^[26] 通过对淀粉的序批式降解试验所得到的结论是一致的, 并且从水质特性参数的比值上得到了解释.

2.3.2 蛋白质与模型组分的关系

通过对 5 个不同浓度的蛋白质溶液测定其相应的 S_s 、 X_s 、 S_i 、 X_i , 其结果如表 3 和图 4 所示.

从表 3 和图 4 可以看到, 蛋白质溶液浓度与 ASM_s 模型各水质特性参数间均存在非常好的相关性; S_s : S_i 约为 1:1.2, 且蛋白质溶液 X_i 较高, 表明蛋白质是出水中难降解有机物的主要来源. Dignac 等^[17] 的研究结果表明, 出水中有机物大部分是难以生物降解的蛋白质和糖类, 这与本研究结论是吻合的.

表 3 各浓度下蛋白质与模型组分关系/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 3 Relationship between proteins of different concentrations and water characteristic parameters/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$						
指标	测试 1	测试 2	测试 3	测试 4	测试 5	拟合曲线
蛋白质	50.0	100.0	150.0	200.0	250.0	—
COD	75.0	150.0	225.0	300.0	375.0	—
S_s	25.0	50.0	75.0	100.0	125.0	$S_s = 0.3333c_{\text{蛋白质}}, R \approx 1$
X_s	31.8	63.5	95.3	127.0	158.8	$X_s = 0.4234c_{\text{蛋白质}}, R \approx 1$
S_i	7.0	13.9	20.9	27.9	34.8	$S_i = 0.0929c_{\text{蛋白质}}, R \approx 1$
X_i	11.3	22.5	33.8	45.1	56.4	$X_i = 0.1503c_{\text{蛋白质}}, R \approx 1$

2.3.3 油脂类与模型组分的关系

通过对 5 个不同浓度的油酸甲酯溶液测定其相应的 S_s 、 X_s 、 S_i 、 X_i , 其结果如表 4 和图 5 所示. 可以看到, 油脂溶液浓度与活性污泥数学模型各个水质特性参数之间均存在非常好的相关关系, 其中 S_s : S_i $\approx$ 1:1.7.

2.3.4 LAS 与模型组分的关系

通过对 4 个不同浓度的 LAS 溶液测定其相应的

S_s 、 X_s 、 S_i 、 X_i , 其结果列如表 5 和图 6 所示.

从表 5 和图 6 可以看到, LAS 溶液浓度与 ASM_s 模型各水质特性参数之间均存在非常好的相关关系, S_s : S_i $\approx$ 1:2.2.

2.4 生活污水典型有机物与 ASM_s 模型 COD 参数相关性表达式的建立及其验证

2.4.1 相关性表达式的建立

由于蛋白质浓度、糖类浓度、油脂浓度、LAS 浓

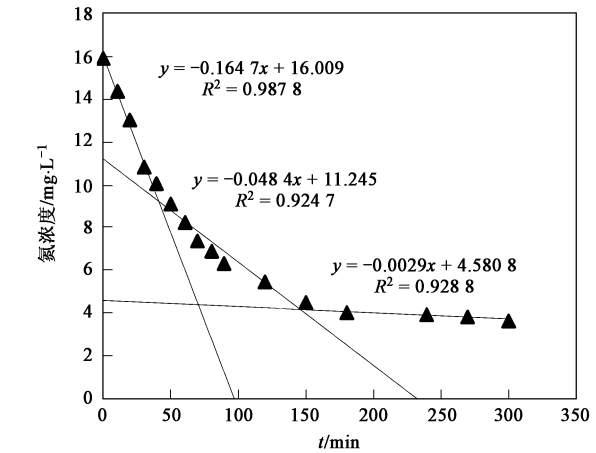


图 4 蛋白质 NUR 曲线图(250 mg·L⁻¹)

度对水质特性参数 S_s 、 X_s 、 S_I 、 X_I 的贡献互不影响, 所以通过上述分析, 归纳得出上述典型有机物与 ASM_s 水质特性参数 S_s 、 X_s 、 S_I 、 X_I 之间相关性的数学表达式, 如式(8)~(11)所示。

$$S_s = f_1(0.3333 \cdot S_{PR} + 0.2141 \cdot S_{SU} + 0.2734 \cdot S_{LI} + 0.2365 \cdot S_{LAS}) + A \quad (8)$$

$$X_s = f_2(0.4234 \cdot S_{PR} + 0.5789 \cdot S_{SU} + 0.4525 \cdot S_{LI} + 0.5207 \cdot S_{LAS}) + B \quad (9)$$

$$S_I = f_3(0.0929 \cdot S_{PR} + 0.0962 \cdot S_{SU} + 0.0789 \cdot S_{LI} + 0.1905 \cdot S_{LAS}) + C \quad (10)$$

$$X_I = f_4(0.1503 \cdot S_{PR} + 0.1109 \cdot S_{SU} + 0.1851 \cdot S_{LI} + 0.0523 \cdot S_{LAS}) + D \quad (11)$$

式中, S_{PR} 、 S_{SU} 、 S_{LI} 、 S_{LAS} 分别代表蛋白质浓度、糖类

表 4 各浓度下油脂与模型组分关系 mg·L⁻¹

Table 4 Relationship between lipids of different concentrations and water characteristic parameters/mg·L ⁻¹						
指标	测试 1	测试 2	测试 3	测试 4	测试 5	拟合曲线
油酸甲酯	25.0	50.0	75.0	100.0	125.0	—
COD	72.0	144.0	216.0	288.0	360.0	—
S_s	19.7	39.4	59.1	78.7	98.4	$S_s = 0.2734c_{\text{油酸}}, R \approx 1$
X_s	33.3	66.6	99.9	133.2	166.5	$X_s = 0.4625c_{\text{油酸}}, R \approx 1$
S_I	5.7	11.4	17.1	22.7	28.4	$S_I = 0.0789c_{\text{油酸}}, R \approx 1$
X_I	13.3	26.7	40.0	53.3	66.7	$X_I = 0.1851c_{\text{油酸}}, R \approx 1$

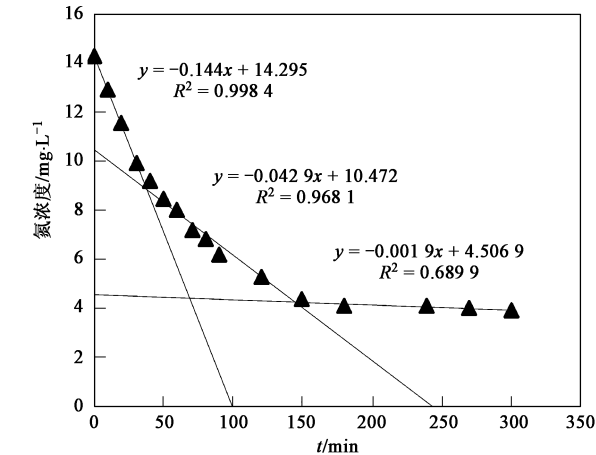


图 5 油脂 NUR 曲线图(125 mg·L⁻¹)

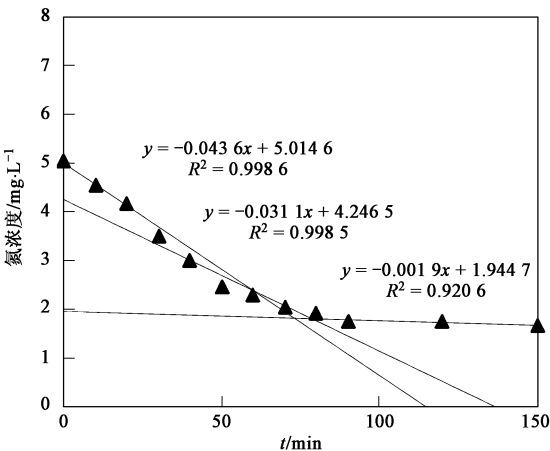


图 6 LAS NUR 曲线图(25 mg·L⁻¹)

Fig. 5 NUR Curves of lipids at concentration of 125 mg·L⁻¹

Fig. 6 NUR Curves of LAS at concentration of 25 mg·L⁻¹

表 5 各浓度下 LAS 与模型组分关系/mg·L⁻¹

Table 5 Relationship between LAS of different concentrations and water characteristic parameters/mg·L ⁻¹						
指标	测试 1	测试 2	测试 3	测试 4	拟合曲线	
LAS	5.0	15.0	25.0	50.0	—	
COD	12.3	37.0	61.7	123.5	—	
S_s	2.9	8.8	14.6	29.2	$S_s = 0.2365c_{LAS}, R \approx 1$	
X_s	6.4	19.3	32.1	64.3	$X_s = 0.5207c_{LAS}, R \approx 1$	
S_I	2.4	7.1	11.8	23.5	$S_I = 0.1905c_{LAS}, R \approx 1$	
X_I	0.6	1.9	3.2	6.5	$X_I = 0.0523c_{LAS}, R \approx 1$	

浓度、油脂浓度、LAS 浓度; f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 、 A 、 B 、 C 、 D 是常数, 这主要是考虑到实际生活污水的组成更为复杂, 那些低浓度的有机物也可能会对 ASM_s 水质特性参数产生一定程度的影响。

2.4.2 相关性表达式的验证

为了验证式(8)~(11)所示相关性表达式的可行性, 对上海某大型居民新村生活污水进行连续 1 周的取样和测定, 结果如表 6 和表 7 所示(S_{PR} 、 S_{SU} 、

表 6 某大型居民新村污水模型有机组分分析结果

Table 6 Water characteristic parameters of a large community's wastewater									
水样	COD /mg·L ⁻¹	S _S /mg·L ⁻¹	所占质量分数 /%	X _S /mg·L ⁻¹	所占质量分数 /%	S _I /mg·L ⁻¹	所占质量分数 /%	X _I /mg·L ⁻¹	所占质量分数 /%
1	300.0	76.4	25.47	97.8	32.60	54.2	18.07	71.7	23.90
2	285.0	64.9	22.77	108.2	37.96	45.6	16.00	66.3	23.26
3	329.0	90.5	27.51	96.4	29.30	55.1	16.75	87	26.44
4	488.0	122.8	25.16	150.1	30.76	66.5	13.63	148.6	30.45
5	455.0	118.1	25.96	162.1	35.63	65.6	14.42	119.3	26.22
6	367.0	107.7	29.35	109.7	29.89	51.3	13.98	98.3	26.78
7	359.0	81.5	22.70	131.3	36.57	52.2	14.54	94.1	26.21

表 7 大型居民新村污水进水常规指标分析结果

Table 7 Water quality of a large community's wastewater									
水样	COD /mg·L ⁻¹	S _{PR} /mg·L ⁻¹	所占质量分数 /%	S _{SU} /mg·L ⁻¹	所占质量分数 /%	S _{LI} /mg·L ⁻¹	所占质量分数 /%	S _{LAS} /mg·L ⁻¹	所占质量分数 /%
1	300.0	106.3	35.43	72.1	24.03	23.2	7.73	21.4	7.13
2	285.0	86.2	30.25	72.3	25.37	30.1	10.56	20.6	7.23
3	329.0	105.2	31.98	78.4	23.83	19	5.78	15.3	4.65
4	488.0	120.8	24.75	85.4	17.50	37.7	7.73	18.4	3.77
5	455.0	111.9	24.59	103.8	22.81	34.5	7.58	15.8	3.47
6	367.0	115.9	31.58	65.9	17.96	30.1	8.20	14.6	3.98
7	359.0	99.4	27.69	80.8	22.51	34.9	9.72	15.7	4.37

S_{LI}、S_{LAS}分别表示蛋白质、糖类、油脂和 LAS 浓度)。

由表 6 和表 7 可知,该污水中快速生物降解物质占总 COD 的 22%~29%,慢速可生物降解物质占 29%~38%;蛋白质占总 COD 的 24%~35%,糖类占 17%~35%,油脂占 5%~11%,LAS 占 3%~8%,这 4 类有机物质合计占总 COD 的 53%~74%,本研究结果与国内外同类研究报道的数值接近^[27,28]。

参照式(8)~(11)对数据进行拟合,计算出 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 、 A 、 B 、 C 、 D 的值,从而得到式(12)~(15)。

$$S_S = 0.2797 \times (0.3333 \cdot S_{PR} + 0.2141 \cdot S_{SU} + 0.2734 \cdot S_{LI} + 0.2365 \cdot S_{LAS}) + 39.319$$
$$R = 0.93 \tag{12}$$

$$X_S = 0.3844 \times (0.4234 \cdot S_{PR} + 0.5789 \cdot S_{SU} + 0.4625 \cdot S_{LI} + 0.5207 \cdot S_{LAS}) + 67.835$$
$$R = 0.93 \tag{13}$$

$$S_I = 0.1709 \times (0.0929 \cdot S_{PR} + 0.0962 \cdot S_{SU} + 0.0789 \cdot S_{LI} + 0.1905 \cdot S_{LAS}) + 13.605$$
$$R = 0.92 \tag{14}$$

$$X_I = 0.1034 \times (0.1503 \cdot S_{PR} + 0.1109 \cdot S_{SU} + 0.1851 \cdot S_{LI} + 0.0523 \cdot S_{LAS}) + 21.407$$
$$R = 0.92 \tag{15}$$

上述分析表明,实际生活污水中典型有机物浓度与 ASM_s 水质特性参数相关关系较好,相关系数

R 值均在 0.90 以上。

为了进一步验证式(12)~(15)对 ASM_s 水质特性参数的模拟效果,对该实际生活污水的水质特性参数同时进行了模拟和测定,二者的误差如表 8 所示。

表 8 模型预测值和实测值的差别

Table 8 Difference between model prediction and measurement		
水质特性参数	绝对误差/mg·L ⁻¹	相对误差/%
S _S	8.49	8.96
X _S	9.90	8.33
S _I	4.46	8.70
X _I	12.98	9.52

由表 8 可知,采用所建立的关系式对污水处理系统进水的计算估算结果误差较小,相对误差<10%,可以通过测定部分典型有机物的浓度,求取相应的 ASM_s 水质特性参数。

3 结论

(1) 生活污水反硝化条件下异养菌产率系数为 0.683。

(2) 单一蛋白质、糖类、油脂以及 LAS 浓度与 ASM_s 的水质特性参数 S_S、X_S、S_I、X_I 的相关关系较好,相关系数接近 1。

(3) 实际生活污水中蛋白质占总 COD 的 24%~

35%, 糖类占 17%~35%, 油脂占 5%~11%, LAS 占 3%~8%, 合计占总 COD 的 53%~74%, 是污水中 COD 的主要成分。该污水中快速生物降解物质占总 COD 的 22%~29%, 慢速可生物降解物质占 29%~38%。

(4) 生活污水中糖类、蛋白质、油脂、LAS 这 4 种典型有机物与 ASM_s 水质特性参数 S_s 、 X_s 、 S_1 、 X_1 的相关关系较好, 其关系式对污水处理系统进水的计算估算结果误差较小, 相对误差 < 10%, 可以通过测定部分典型有机物浓度, 求取相应的 ASM_s 水质特性参数。

参考文献:

- [1] 国际水协废水生物处理设计与运行数学模型课题组编. 张亚雷, 李咏梅译. 活性污泥数学模型[M]. 上海: 同济大学出版社, 2002. 15-16.
- [2] Peter A V, Henri S, Britta P, *et al.* Estimation (combinations of) Activated Sludge NO. 1 parameters and components by respirometry[J]. Wat Sci Tech, 1999, **39**(1): 195-214.
- [3] Koichi S, Shinya M, Satoshi O, *et al.* Modeling and experimental study on the anaerobic/aerobic/anoxic process for simultaneous nitrogen and phosphorus removal: The effect of acetate addition[J]. Process Biochemistry, 2008, **43**(6): 605-614.
- [4] Ewa L, Thomas W. A method for determination of the readily fermentable organic fraction in municipal wastewater[J]. Water Research, 1997, **31**(6): 1269-1274.
- [5] Wentzel M C, Ubisi M F, Ekama G A. Batch test for measurement of S_s and active organisms concentrations in municipal wastewaters[J]. Water SA, 1995, **21**(2): 117-125.
- [6] Witteborg A. Respirometry for determination of the influent S_s concentration[J]. Wat Sci Tech, 1996, **33**(1): 311-323.
- [7] Brouwer H, Klapwijk A, Keesman K J. Identification of activated sludge and wastewater characteristics using respirometry batch-experiments[J]. Wat Res, 1998, **32**(4): 1240-1254.
- [8] Orhon D, Karahan O, Sozen S. The effect of residual microbial products on the experimental assessment of the particulate inert COD in wastewater[J]. Wat Res, 1999, **33**(14): 3191-3203.
- [9] Kappeler J, Gujer W. Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and characterization of wastewater for activated sludge modeling[J]. Wat Res Tech, 1992, **25**(6): 125-139.
- [10] Metcalf & Eddy 公司编, 秦裕珩译. 废水工程: 处理与回用[M]. (第四版). 北京: 化学工业出版社, 2004. 482-509.
- [11] Confer D R, Logan B E. Molecular weight distribution of hydrolysis products during the biodegradation of model macromolecules I. Bovine serum albumin[J]. Wat Res, 1997, **31**(9): 2127-2136.
- [12] Elru D, Serdar D, Ozlem K, *et al.* Size distribution of wastewater COD fractions as an index for biodegradability[J]. Wat Res, 2006, **40**(2): 273-282.
- [13] Katarzyna K, Bram K. A method to estimate denitrification potential for predenitrification systems using NUR batch test[J]. Wat Res, 1999, **33**(10): 2291-2300.
- [14] Ekama G A, Dold P L, Marais G V. Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge system[J]. Wat Sci Tech, 1986, **18**(8): 91-114.
- [15] Repeta D J, Quan T M, Aluwihare L I, *et al.* Chemical characterization of high molecular weight dissolved organic matter in fresh and marine waters[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2002, **66**(6): 955-962.
- [16] 黄满红, 李咏梅, 顾国维. 生活污水中糖类测试方法研究[J]. 环境污染与防治, 2006, **28**(5): 393-395.
- [17] Dignac M F, Ginstet P, Ryback D, *et al.* Fate of wastewater organic pollution during activated sludge treatment: nature of residual organic matter[J]. Wat Res, 2000, **34**(17): 4185-4194.
- [18] Raunkjer K, Thorkild H J, Nielsen P H. Measurement of pools of protein, carbohydrate and lipids in domestic wastewater[J]. Wat Sci Tech, 1994, **28**(2): 251-262.
- [19] 黄满红, 李咏梅, 顾国维. 直链烷基苯磺酸钠在厌氧-缺氧-好氧污水处理系统中的迁移转化规律[J]. 环境科学, 2007, **28**(7): 1502-1506.
- [20] Peter E, Flavier M E, Paje M L, *et al.* Occurrence and fate of linear and branched alkylbenzenesulfonates and their metabolites in surface waters in the Philippines[J]. Science of the Total Environment, 2001, **269**(1-3): 75-85.
- [21] 许国旺. 现代实用气相色谱法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004. 128-134.
- [22] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 210-284.
- [23] Lishman L, Smyth S A, Sarafin K, *et al.* Occurrence and reductions of pharmaceuticals and personal care products and estrogens by municipal wastewater treatment plants in Ontario, Canada[J]. Science of the Total Environment, 2006, **367**(2-3): 544-558.
- [24] Paxus N, Robinson P, Balm P. Study of organic pollutants in municipal wastewater in Göteborg, Sweden[J]. Wat Sci Tech, 1992, **25**(2): 249-256.
- [25] Sophonsiri C, Morgenroth E. Chemical composition associated with different particle size fractions in municipal, industrial, and agricultural wastewaters[J]. Chemosphere, 2004, **55**(5): 691-703.
- [26] Haldane G M, Logan B E. Molecular size distributions of a macromolecular polysaccharide (dextran) during biodegradation in batch and continuous culture[J]. Wat Res, 1994, **28**(9): 1873-1878.
- [27] Henze M. Characterization of wastewater for modeling of activated-sludge processes[J]. Wat Sci Tech, 1992, **25**(6): 1-15.
- [28] Sperandio M, Urbain V. Application of COD fractionation by a new combined technique: Comparison of various wastewater and sources of variability[J]. Wat Sci Tech, 2001, **43**(1): 181-187.