维普资讯 http://www.cqvip.com

第29卷第5期
2008年5月

环 境 科 学
ENVIRONMENTAL SCIENCE

Vol.29, No.5
May, 2008

碳氮比对 UniFed SBR 工艺性能的影响

赵晨红，彭永臻*，王淑莹，唐旭光
（北京工业大学水质科学与水环境恢复工程重点实验室，北京 100022）

摘要：采用 UniFed SBR 工艺试验装置处理实际生活污水，考察了7组不同的进水碳氮比（2.75、4.28、5.7、6.5、6.97、8.08、11.19）对总氮、磷和 COD 去除以及污泥沉降性能的影响．结果表明，当C/N低于5.7时，TN 去除率随C/N的升高而快速大幅度提高，从2.75时的43.6%升至5.7时的80.84%，之后继续提高C/N，由于不能进一步提高进水/排水阶段的脱氮率，只能提高曝气阶段由于同步硝化反硝化产生的脱氮率，所以 TN 去除率的提高变得缓慢．随着进水C/N的增加，聚磷菌可从进水中获得更多的有机碳源，进行 PHB 的合成和 PO_4^{3-} 的释放，同时避免了 NO_x^- 对释磷产生的抑制作用，因而磷的去除率随C/N的增加而提高，且C/N越高，PAOs 的释磷量和吸磷量越多，好氧吸磷速率越快，除磷效果越好．进水C/N的变化对 COD 的去除没有显著影响，平均去除率为93.15%．当C/N大于6.97、有机负荷高于0.38 kg/(kg·d)时，污泥容积指数随C/N的增加而大幅度提高，产生由于低溶解氧和高负荷带来的非丝状菌污泥膨胀．

关键词：UniFed SBR 工艺；脱氮；除磷；碳氮比
中图分类号：X703.1 **文献标识码**：A **文章编号**：0250-3301(2008)05-1210-06

Effects of Influent C/N Ratio on Performance of UniFed SBR Process

ZHAO Chen-hong, PENG Yong-zhen, WANG Shu-ying, TANG Xu-guang
(Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environmental Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: The effects of 7 groups of different influent C/N ratio(2.75, 4.28, 5.7, 6.5, 6.97, 8.08, 11.19) on the removal efficiencies of total nitrogen, phosphorus and COD as well as the sludge settling performance were investigated in a UniFed SBR lab-scale apparatus treating actual domestic wastewater. The results showed that when the C/N ratio was lower than 5.7, TN removal efficiency increased sharply as C/N ratio increased, from 43.6% of 2.75 to 80.84% of 5.7. Afterwards, TN removal efficiency increased very slowly as C/N ratio increased, because only TN removal efficiency caused by SND during aeration period could be enhanced. P removal efficiency increased as C/N ratio increased, because PAOs could get more organic carbon source from the influent to produce PHB and release PO_4^{3-}, avoiding the adverse influence of NO_x^- on PO_4^{3-} release. The higher the C/N ratio, the more the quantities of P release and uptake, the quicker P uptake rate, the better P removal performance was. Regardless of the C/N ratio, excellent COD (average 93.15%) removal efficiencies were maintained throughout the experiment. When Influent C/N ratio was bigger than 6.97 and organic load exceeded 0.38 kg/(kg·d), SVI rose quickly as C/N ratio increased. Non-silk bacteria sludge bulge appeared because of low DO and high organic load.

Key words: UniFed SBR process; nitrogen removal; phosphorus removal; C/N ratio

UniFed SBR 工艺是近年来国外开发出的一种能在简单的单一 SBR 池中实现同步除磷脱氮的新工艺[1]．UniFed SBR 工艺在进水方式和运行方式上有别于传统 SBR 工艺，其一个运行周期包括进水/排水、曝气、沉淀3个阶段．原水由 SBR 池底部引入，通过设置在池底部的布水器，直接、均匀地布水并穿过沉淀污泥层，泥和水不产生大的机械混合；采用进水顶出水的排水方式，在污泥层来自前一周期的处理澄清水逐渐地被后一周期进入的废水所代替，上层的澄清水被撇出池外，出水靠滗水器或溢流装置完成，进水和排水2个过程是在同一时间段同时完成，进水/排水阶段运行的关键技术是底部进水布水器的设计，需能保证缓慢、均匀布水，同时控制较小的进水上升流速，防止因池底污泥受到扰动而影响上层出水水质，实现底部进水与上层澄清出水的良好分离，接着进入好氧曝气阶段和沉淀阶段．

在 UniFed SBR 工艺的进水/排水阶段，在反应池底部随着进水的流入，带入的易降解 COD 被反硝化菌利用，将前一周期残留在污泥层中的 NO_x^- 还原为 N_2，另外随着进水不断从池底部流入，污泥层中前一周期的处理水逐渐地被后一周期的进水所代替，而进水中所含的 NO_x^- 浓度非常低，接近于0，由于上述2方面原因，污泥层中的 NO_x^- 浓度不断降低，SBR 池底部逐渐形成了厌氧环境，聚磷菌利用进水中的有机碳源，进行磷酸盐的释放；在后续的曝气阶段，可

收稿日期：2007-05-24；**修订日期**：2007-07-28
基金项目：国家"十一五"科技支撑计划重点项目（2006BAC19B03）；北京市属市管高等学校人才强教"创新团队"项目
作者简介：赵晨红（1974～），女，博士研究生，讲师，主要研究方向为污水的生物处理及其过程控制．
* 通讯联系人，E-mail：pyz@bjut.edu.cn

维普资讯 http://www.cqvip.com

完成硝化作用和好氧吸磷过程.由于 UniFed SBR 工艺新颖的进水系统设计和运行方式,在反应池中可按时间顺序依次创造脱氮除磷所需的缺氧、厌氧和好氧环境,因此通过 UniFed SBR 1 个运行周期可实现同步的脱氮和除磷.该工艺已在澳大利亚的巴瑟斯特市生活污水处理厂中得以成功应用,对 COD、N、P 的去除率均在 90%以上[2].

Janssen 等[3]认为,在 BNR(生物营养物去除)系统中,污水成分的组成如C/N是生物营养物去除的关键.王亚宜[4]和王晓莲[5]也提出C/N是 BNR 系统中氮、磷去除的最为重要的影响因子,并分别针对 A_2N 反硝化除磷脱氮双污泥工艺和 A_2O 工艺,深入研究和探讨了进水C/N对工艺氮、磷去除的影响和影响机理.由于 UniFed SBR 是一种新型同步除磷脱氮工艺,鲜见到关于进水C/N是如何影响该工艺脱氮除磷性能的研究报道.本研究在实验室条件下,利用新型 UniFed SBR 工艺处理实际生活污水,考察在不同进水C/N下,UniFed SBR 工艺对污水中总氮、磷、COD 的去除情况,以期为该工艺未来在国内实际工程中的推广应用提供理论依据和指导.

1　材料与方法

1.1　试验装置

试验采用的 UniFed SBR 反应器及自控装置如图 1 所示.反应器为有机玻璃制成,有效高度 90 cm,截面为正方形,边长 21 cm,总有效容积 40 L.在反应器底部设进水布水管,沿布水管管壁下侧每间隔一定距离打孔,原废水由反应器底部进入布水管,通过布水孔后进入反应器内,实现了工艺所要求的缓慢、均匀进水,进水由蠕动泵控制.采用进水顶出水的排水方式,在反应器上部固定一溢流堰,上部澄清出水经溢流堰和排水管排出反应器,排水管上设有电动阀控制排水.曝气阶段由空压机 1 向反应器中供氧,反应器底部中央设有曝气头,转子流量计调节曝气量和 DO.为防止曝气时混合液溢流至出水堰,带出污泥和悬浮物,开发了空气堰排水系统(详见文献[6]),避免了上述问题的发生.由空压机 2 向空气堰充气,在空压机 2 和空压机 1 的空气管路上各设一电磁阀.研制出一套设空气堰排水的 UniFed SBR 工艺计算机自动控制系统,可对进水蠕动泵、排水电动阀、空压机 1、空压机 2 的启闭实施自动控制.UniFed SBR 1 个运行周期按进水/排水 2 h,空气堰充气 1 min,曝气 2~2.5 h,沉淀 20 min 的方式连续运行,不设闲置期,前一个周期沉淀阶段结束后立即进入下一个周期的进水/排水阶段,每天运行 4~5 个周期.用加热器和温控仪调控水温在(26±1)℃,控制 MLSS 在 3.0~4.0 g/L,曝气期间的 DO 在 0.5 mg/L 以下.

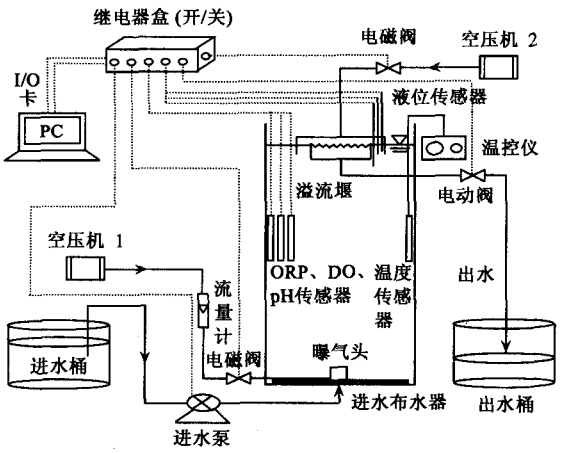

图 1　UniFed SBR 反应器及自控装置

Fig.1　Schematic diagram of UniFed SBR reactor and auto-control equipment

1.2　污水和污泥

试验采用的是学校居民小区实际生活污水,试验期间在未投加外碳源前的原新鲜生活污水水质如表 1 所示.污泥接种于北京市某污水处理厂二沉池回流污泥,经过大约 3 周完成了污泥的培养驯化,开始进入试验阶段.

表 1　原水水质/mg·L⁻¹

Table 1　Influent characteristics/mg·L⁻¹

项目	pH	COD	NH_4^+	TN	C/N	PO_4^{3-}
范围	7.2~7.6	183.6~201.6	54.65~55.77	66.29~71.57	2.57~3.04	4.07~7.51
平均值	7.4	191.3	55.2	69.58	2.75	5.78

本试验的目的是考察进水C/N对 UniFed SBR 工艺总氮、磷、COD 去除的影响.由于原生活污水的 NH_4^+ 和 TN 浓度相对稳定,通过向原水中投加不同数量的乙酸钠来控制不同的进水 COD 和C/N.在每个C/N下系统都是经若干周期运行,待达到稳定的处理效果后,对 TN、PO_4^{3-}、COD 浓度在 1 个周期的变化进行跟踪测定,充水比设为 25%,这里充水比定

维普资讯 http://www.cqvip.com

义为每周期的进水/排水量与反应器总有效容积的比值.

1.3 分析项目及方法

COD、NH_4^+-N、NO_2^--N、NO_3^--N、PO_4^{3-}-P、MLSS、SVI等指标均采用国家标准方法测定,使用德国耶拿分析公司的Multi N/C 3000 TN/TOC测定仪测定TN,德国WTW Multi 340i及相应传感器在线检测DO、pH、ORP值和温度.

2 结果与讨论

2.1 C/N对氮去除的影响

图2给出在7个不同的进水C/N(2.75、4.28、5.7、6.5、6.97、8.08、11.19)下,TN在UniFed SBR 1个周期中的变化曲线.从中可以看出,在进水/排水阶段TN浓度出现明显降低,这主要是由于进水的稀释作用和在反应池底部发生了反硝化脱氮作用,在之后的曝气阶段TN浓度呈缓慢下降趋势,这表明有一少部分TN因微生物的同化作用和发生了SND(同步硝化反硝化)而被去除.可见,TN在1个UniFed SBR周期的2个阶段都有不同程度的损失,因此认为一个完整UniFed SBR周期的TN去除率 η 为进水/排水阶段的TN去除率 η_1 与曝气阶段的TN去除率 η_2 二者之和,即 $\eta=\eta_1+\eta_2$,其中,η_1 和 η_2 可根据下列公式计算确定.

$$\eta_1=\left(\frac{\text{原水 TN 浓度}}{\text{原水 TN 浓度}}-\frac{\text{曝气初始混合液 TN 浓度}}{\text{原水 TN 浓度}}\right)\times 100\%$$

$$\eta_2=\left(\frac{\text{曝气初始混合液 TN 浓度}}{\text{原水 TN 浓度}}-\frac{\text{曝气结束时混合液 TN 浓度}}{\text{原水 TN 浓度}}\right)\times 100\%$$

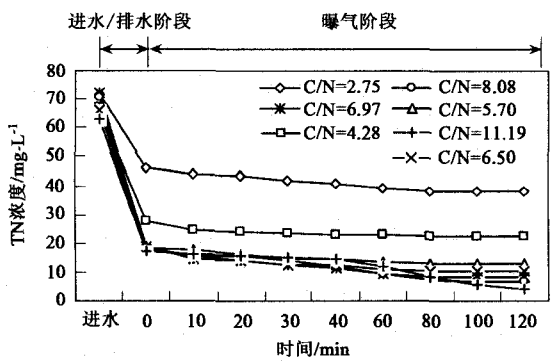

图2 在7个C/N下TN在1个UniFed SBR周期中的变化曲线

Fig.2 TN concentration profiles during a UniFed SBR cycle at 7 different C/N ratios

从图2还可以看出,曝气初始混合液的TN浓度随着C/N的增加而逐步降低,从C/N为2.75时的45.9 mg/L降至C/N为5.7时的18.56 mg/L,但之后继续提高C/N,发现曝气初始混合液中的TN浓度不再随C/N的增加而继续下降,始终保持在17.34~18.93 mg/L之间.

图3为进水/排水阶段的TN去除率 η_1、曝气阶段的TN去除率 η_2 和1个完整UniFed SBR周期的TN去除率 η 随C/N的变化曲线图.从图3可以看到,在进水C/N低于5.7时,η_1 随着C/N的升高而迅速大幅度提高,从C/N为2.75时的35.87%升至C/N为5.7时的72.31%,这是由于在提高C/N的过程中,池底部污泥层中的反硝化菌可从进水中获得更多的有机碳源,将更多的 NO_x^- 还原为 N_2 从水中去除,从而使 η_1 随C/N的升高而迅速得以提高,然而之后继续提高C/N,发现 η_1 不再随C/N的升高而进一步提高,始终稳定在72.27%~73.83%之间,这一结果充分说明 η_1 并不能随着C/N的升高而无限度提高,在C/N达到5.7时,已基本实现进水/排水阶段的完全反硝化脱氮,达到了该阶段TN去除率的最大值 η_{1max}.另外,图3还显示,当进水C/N低于5.7时,η_2 随C/N的增加并无明显变化,始终在10.58%以下;而当进水C/N高于5.7后,η_2 却随着C/N的增加而出现缓慢上升,从C/N为5.7时的8.53%缓慢升至C/N为11.19时的21.31%,曝气阶段TN的降解值也从5.72 mg/L提高到13.33 mg/L.归其原因在于:在低于5.7的各C/N下,进水提供的碳源数量相比池底污泥层中的反硝化菌和聚磷菌对碳源的需求量而言而显得不足,导致曝气初始混合液的COD值在各C/N时都很接近,且较低,因而在各C/N比时的 η_2 差别不大;然而在高于5.7的各C/N下,由于 η_1 是相同的,说明进水/排水阶段被反硝化菌和聚磷菌消耗的COD值基本相等,则进水C/N比越高,曝气初始混合液的COD值越高,即提供给曝气阶段发生同步硝化反硝化的有机碳源也越多,因而 η_2 也越高.

由图3中 η 随C/N比的变化趋势可知,进水C/N是影响UniFed SBR工艺TN去除率的一个非常重要的影响因素.C/N低于5.7时,η 随C/N的增加而大幅度提高,之后继续提高C/N,η 的提高逐渐变缓,在进水C/N从5.7增加至11.19的过程中,原水的COD值虽提高了300 mg/L左右,但出水TN浓度只降低了8.83 mg/L,η 也仅从80.84%缓慢升至93.58%.此外,进水C/N在从2.75~11.19的变化过程中,η_1 在

维普资讯 http://www.cqvip.com

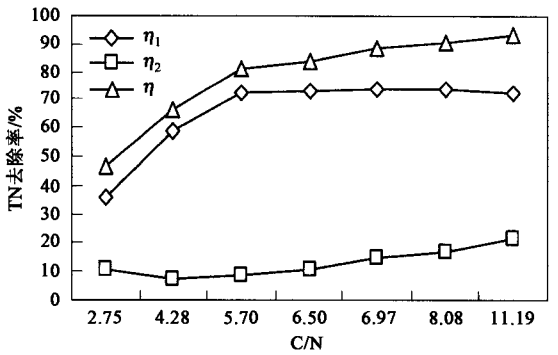

图 3　1 个 UniFed SBR 周期及各阶段 TN 去除率随C/N比变化

Fig.3　Variation of TN removal efficiencies during every stage of a UniFed SBR cycle with C/N ratio

35.87% ~ 73.83% 之间，η_2 在 7.73% ~ 21.31% 之间，η_1 始终大于 η_2，因而充水比为 25% 时，进水/排水阶段对 UniFed SBR 工艺 TN 去除的贡献更大.

2.2　C/N对磷去除的影响

图 4 给出在 7 个不同的C/N(2.75、4.28、5.7、6.5、6.97、8.08、11.19)下磷的去除情况.从图 4 可以看出，PO_4^{3-} 的去除率随着C/N的升高而升高，从C/N为 2.75 时的 27.33% 升至 5.7 时的 88.11%，当C/N达到 6.5 时，出水已检测不到有 PO_4^{3-}，即 PO_4^{3-} 达到了 100% 完全去除.由此可见，进水的C/N也是影响 UniFed SBR 工艺 P 的去除效果的重要因素.分析其原因，是由于在 UniFed SBR 工艺中原污水中的 PO_4^{3-} 是通过进水/排水阶段池底污泥层中的聚磷菌的厌氧释磷过程和曝气阶段的好氧过量吸磷过程而去除的.磷能够取得良好去除的必要条件是释磷必须充分，而要实现充分释磷则需向聚磷菌提供充足的有机碳源和创造严格的厌氧环境.在进水/排水阶段，反硝化和释磷都需要碳源，在低C/N时，由于进水COD值偏低，一方面反硝化菌无法获得充足的碳源进行反硝化，另一方面聚磷菌也无法获得足够碳源进行释磷，因而在低C/N时，氮和磷的去除效果都不佳；随着C/N的升高，反硝化菌和聚磷菌都可获得相对较多的碳源进行反硝化和释磷，所以氮和磷的去除效率都随之提高，且C/N越高，污泥层中的 NO_x^- 浓度越低，PAOs 可利用的碳源越多，就越有利于释磷.在C/N为 5.7 时，通过前已分析在该C/N下已达到该阶段 TN 去除率的最大值，表明此时进水提供的碳源数量对反硝化菌来说已经足够，已基本实现完全充分的反硝化，但从出水中还含有 0.56 mg/L 的 PO_4^{3-} 可以说明，聚磷菌虽然也获得了较多的碳源，但数量还未达到能使 PO_4^{3-} 完全去除，释磷仍不够充分，同时也说明了反硝化菌在与聚磷菌对碳源的竞争中占优势.试验中当将C/N提高至 6 时，可使 PO_4^{3-} 得以完全去除，且在之后的高于 6.5 的各碳氮比下，磷均为 100% 完全去除.

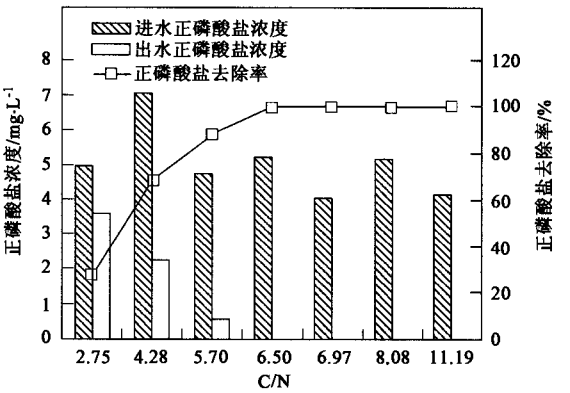

图 4　在 7 个C/N下 PO_4^{3-} 的去除

Fig.4　Removal of PO_4^{3-} at 7 different C/N ratios

图 5 给出在 7 个C/N下，PO_4^{3-} 在 1 个 UniFed SBR 周期中的变化规律.发现在C/N高于 5.7 时，曝气初始混合液中的 PO_4^{3-} 浓度相比进水时有了明显提高，说明在进水/排水阶段，在反应器底部污泥层中发生了非常明显的释磷作用，而且在曝气前 10 min，混合液中的 PO_4^{3-} 浓度仍然在继续提高，分析其原因，主要是因为进水带入的有机基质在进水/排水阶段还没有被反硝化菌和聚磷菌完全耗尽，在曝气初期较低的溶解氧条件下，曝气使得泥水充分混合，混合液中残留的有机物迅速被聚磷菌继续利用，合成PHB 储存在其体内同时释放磷酸盐，释磷充分后，在后续的曝气过程中，聚磷菌利用之前储存的 PHB，将混合液中的磷酸盐吸收到细胞体内并转化为聚磷储存起来，完成过量吸磷反应.图 6 给出在 7 个C/N下，聚磷菌在 1 个周期中的释磷量和吸磷量.图 5 和图 6 表明进水C/N越高，PAOs 的释磷量和吸磷量越多，好氧吸磷速率越快，除磷效果越好.当C/N为 6.5 时，曝气 100 min 时吸磷结束，释磷量和吸磷量分别为 13.23 mg/L 和 14.53 mg/L，吸磷速率为 2.42 mg/(g·h)；当C/N为 8.09 时，曝气 80 min 时吸磷结束，释磷量和吸磷量分别为 20.58 mg/L 和 21.87 mg/L，吸磷速率上升至 5.47 mg/(g·h).

经本试验长期的运行数据结果表明，UniFed SBR 工艺在较高的进水C/N下，对 P 有着极佳的去除效果，出水中常常完全检测不到 PO_4^{3-}. Keller[7] 对此

维普资讯 http://www.cqvip.com

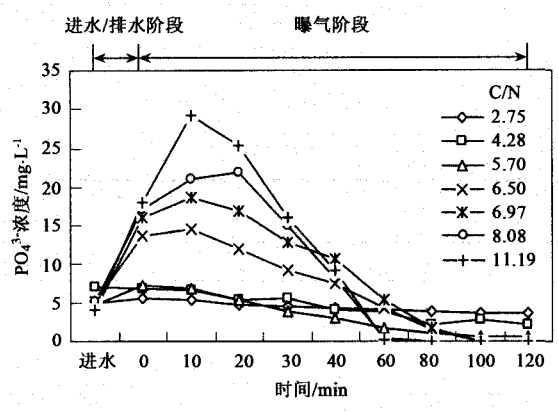

图5 7个C/N下 PO_4^{3-} 在1个 UniFed SBR 周期中的变化曲线

Fig.5 PO_4^{3-} profiles during a UniFed SBR cycle at 7 different C/N ratios

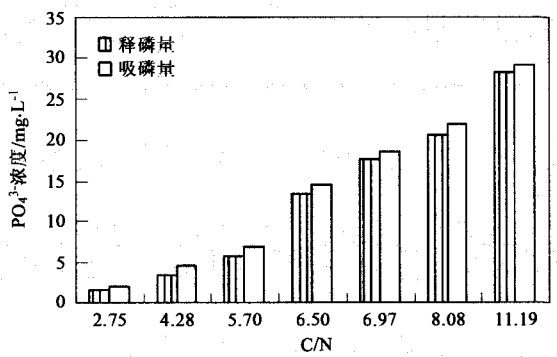

图6 在7个C/N下 PAOs 的释磷量和吸磷量

Fig.6 PO_4^{3-} release and uptake quantities of PAOs at 7 different C/N ratios

的解释是:由于在进水/排水阶段,反应池中大部分生物体(活性污泥)浓缩于池底,同时进水也从池底部进入,较长的进水时间保证了所有的进水及其所含的 COD 都能与生物体(PAOs)长期密切接触,可实现 P 的更加均匀的释放,而不像连续流 BNR 工艺在厌氧区只有较少的生物体与进水相接触.另外,由于投加碳源为乙酸钠,是 PAOs 可利用的最佳底物,碳源的充足保证了释磷的充分和工艺整体对 P 的良好处理效果.需要说明的是,在进水/排水阶段,PO_4^{3-} 的释放主要发生在池的底部,而不影响池上部很低的 PO_4^{3-} 浓度,因此一方面在池的上部撇出质量很好的出水,同时另一方面在池的底部污泥层中发生厌氧释放磷.

2.3 C/N对 COD 去除的影响

图7给出在7个不同的C/N(2.75、4.28、5.7、6.5、6.97、8.08、11.19)下 COD 的去除情况.从图7可以看出,在C/N从2.75增加到5.7的过程中,曝气初始混合液中的 COD 值并未增加,一直稳定在54.17~57.68 mg/L之间,表明在C/N≤5.7时进水提供的碳源不很充足,大部分 COD 在进水/排水阶段池底污泥层中被用作反硝化反应的电子供体和被聚磷菌利用合成胞内储存物 PHB 后没有剩余.之后通过曝气初始混合液中的 COD 值从C/N为6.5时的69.22 mg/L升至C/N为11.19时的164 mg/L,可以判断C/N高于5.7后,进水提供的碳源在被反硝化菌和聚磷菌用尽之后仍有剩余,且进水C/N越高,剩余的 COD 值越多.尽管进水C/N在从2.75升至11.19的过程中,进水 COD 值相差悬殊(差500 mg/L),曝气初始的 COD 值也相差100 mg/L左右,但曝气2h时的 COD 值却相差无几,始终在21.06 mg/L~30.09 mg/L之间,COD 去除率稳定在89.31%~96.99%(平均值93.15%),表明进水C/N比对 UniFed SBR 工艺整体 COD 的去除影响不大.

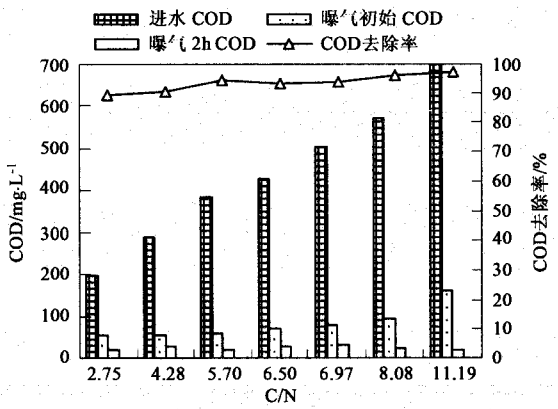

图7 在7个C/N下 COD 的去除情况

Fig.7 Removal of COD at 7 different C/N ratios

2.4 C/N对污泥容积指数的影响

试验还考察了随进水C/N的增加,污泥容积指数(SVI)的变化,如图8所示.当C/N在6.97以下、进水有机负荷低于0.38 kg/(kg·d)时(以 COD 计),为了提高曝气期间同步硝化反硝化脱氮能力,而控制较低的溶解氧在0.3~0.5 mg/L之间,发现活性污泥能够长期处于较低的 DO 下而不发生膨胀现象,SVI 在75~100 mL/g,污泥始终保持良好的沉降性能.然而之后当C/N高于6.97后,由于不改变曝气量,有机负荷的提高导致了曝气期间的 DO 值降低至0.1 mg/L以下,发现随着C/N的增高,SVI 值也随之迅速增高,当C/N达11.19时,有机负荷提高至0.53 kg/(kg·d)时,SVI 高达180 mL/g.通过镜检发现,污泥沉降性能变差并没有伴随着丝状菌的过量生长,

维普资讯 http://www.cqvip.com

而是出现了大量的指型、放射状菌胶团,污泥呈粘性,该污泥属于典型的由高负荷和低溶解氧导致的非丝状菌污泥膨胀[8].尽管污泥沉降性能变差,但出水水质和水处理效果并没有受到影响.因此当进水有机负荷高于 0.38 kg/(kg·d)时,应采取适当加大曝气量的控制策略,提高 DO 至 0.3 mg/L以上可避免微生物处于过低的 DO 状态而引发污泥膨胀.

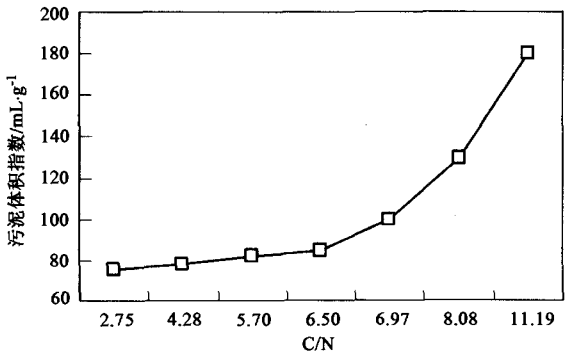

图 8　不同进水C/N比下的污泥体积指数变化

Fig.8　Variation of sludge volume index under different influent C/N ratio

3　结论

(1)UniFed SBR 工艺 1 个周期的 TN 去除率 η 为进水/排水阶段在池底污泥层中发生的反硝化产生的 TN 去除率 η_1 和曝气期间由 SND 产生的 TN 去除率 η_2 二者之和;η_1 始终大于 η_2,表明充水比为 25%时,进水/排水阶段对 UniFed SBR 工艺 TN 的去除贡献更大.

(2)C/N低于 5.7 时,C/N对 η_2 的影响较小,η_1 和 η 皆随C/N的增加而大幅度提高;之后继续增加 C/N,η_1 维持不变,η_2 缓慢提高,因而 η 的提高也逐渐变缓.

(3)随着进水C/N的增加,聚磷菌可从进水中获得更多的有机碳源,进行 PHB 的合成和 PO_4^{3-} 的释放,同时避免了 NO_x^- 对释磷产生的抑制作用,因而 PO_4^{3-} 的去除率随C/N的增加而提高;且C/N越高,PAOs 的释磷量和吸磷量越多,好氧吸磷速率越快,除磷效果越好.

(4)UniFed SBR 工艺对 COD 具有良好的去除性能,平均去除率为 93.15%,进水C/N对工艺整体 COD 的去除影响较小.

(5)在C/N低于 6.97、进水有机负荷低于 0.38 kg/(kg·d)时,SVI 始终在 75 ~ 100 mL/g,污泥始终保持良好的沉降性能;然而当C/N高于 6.97 后,SVI 随 C/N的增加而大幅度提高,当C/N为 11.19 时,SVI 高达 180 mL/g,发生了由高负荷和低溶解氧导致的非丝状菌污泥膨胀.

参考文献:

[1]　赵晨红,彭永臻. 新型 UniFed SBR 生物除磷脱氮工艺[J]. 中国给水排水,2006,**22**(12):14-17.

[2]　王宝贞,王琳. 水污染治理新技术——新工艺、新概念、新理论[M]. 北京:科学出版社,2004.76-81.

[3]　Janssen P M. Operating experiences on two full-scale plants, retrofitted for biological phosphorus removal [A]. In: Nutrient removal from wastewaters[C]. Pennsylvania: Technomic Publishing Company, 1994.26.

[4]　王亚宜.反硝化除磷脱氮机理及工艺研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2004.65-67.

[5]　王晓莲.A_2O 工艺运行优化及其过程控制的基础研究[D]. 北京:北京工业大学,2007. 54-58.

[6]　赵晨红,彭永臻,乔燕曦,等. 空气堰排水 UniFed SBR 工艺的微机自动控制研究[J]. 中国给水排水,2007,**23**(3):14-18.

[7]　Keller J, Watts S, Battye-Smith W, *et al*. Full-scale demonstration of biological nutrient removal in a single tank SBR process [J]. Wat Sci Tech, 2001, **43**(3):355-362.

[8]　陈滢,彭永臻,刘敏,等. SBR 法处理生活污水时非丝状菌污泥膨胀的发生与控制[J]. 环境科学学报,2005,**25**(1):105-108.