

UCT 工艺进水 COD 浓度与 C/N 对除磷效果的影响

张园¹, 罗固源¹, 许晓毅¹, 曹佳², 舒为群²

(1. 重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 第三军医大学军事预防医学院, 重庆 400038)

摘要:在 UCT 工艺中, 进水 COD 浓度和 C/N 是影响其运行效果的重要因素。为考察这种影响, 试验设计 UCT 工艺在不同 C/N 和进水 COD 浓度联合作用下运行, 研究了其中对反硝化除磷和总体除磷效果的影响。结果表明, 当 C/N < 15 时, 较高的 COD 进水浓度促进异养菌的生长而使厌氧反应器释磷作用降低, C/N > 20 时, 由于 TN 浓度降低抑制了异养菌的增殖, 厌氧释磷速率随 COD 浓度的升高基本保持上升趋势; 在进水 COD < 350 mg/L 时, 缺氧反应器内反硝化吸磷作用明显, COD > 350 mg/L 之后反应器内以释磷为主, 当进水 COD < 350 mg/L 时, 进水 C/N 为 10 ~ 20 对反硝化吸磷的促进较明显, 且随着比值的增加促进作用逐渐减小; 在进水 COD 浓度为 250 ~ 450 mg/L 范围内, 无论 C/N 都能保持 80% 以上较稳定的 TP 去除率。

关键词: UCT 工艺; COD; C/N; 反硝化除磷; 生物除磷

中图分类号: X505 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)08-1846-05

Effect of the Influent COD and C/N Ratio on Phosphorus Removal of UCT System

ZHANG Yuan¹, LUO Gu-yuan¹, XU Xiao-yi¹, CAO Jia², SHU Wei-qun²

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Faculty of Military Preventive Medicine, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: UCT is deeply influenced by COD and C/N ratios. To check this infection, the UCT system was designed to run at variety of influent COD and C/N ratios. The results show that: when the influent C/N ratio is lower than 15, the high influent concentration of COD increases the proliferation of heterotrophic bacteria and decreases the phenomenon release rate. When the influent C/N ratio is higher than 20, the low influent concentration of TN decreases the proliferation of heterotrophic bacteria, the phenomenon release rate rise with the increase of COD. When the influent concentration of COD is lower than 350 mg/L, the phenomenon of denitrifying phosphorus-uptake is very remarkable. The phenomenon release is remarkable when the influent concentration of COD is higher than 350 mg/L. When the influent concentration of COD is lower than 350 mg/L, the promotion of C/N ratio which in the range of 10-20 is obvious, and the promotion decreases along with the increase of C/N ratio. The removal efficiency of total phosphorus achieve higher than 80% steadily when the influent concentration of COD in the range of 250-450 mg/L even in different influent C/N ratio.

Key words: UCT system; COD; C/N ratio; denitrifying phosphorus removal; biological phosphorus removal

UCT 工艺中反硝化聚磷菌对系统整体除磷效果的影响因素及系统稳定性的研究表明, 厌氧段存在充足的碳源而在缺氧段时基本不残留碳源有利于提高除磷效果^[1,2], 要想获得理想的反硝化除磷效果应尽可能使外碳源和硝酸盐不在同一时间内共存^[3,4]。还有研究也表明, 底物中是否有硝酸盐的存在将决定反硝化聚磷菌是聚磷还是释磷^[5]; 而最佳除磷效果主要取决于硝酸盐氮的含量^[6]; 缺氧条件下, COD 浓度较高, 聚磷菌又会开始利用碳源进行释磷^[7]。此外, 一些环境因素诸如溶解氧、温度、pH 值等对除磷效果也有较大影响^[8]。也有学者认为, 系统进水 COD 为 400 mg/L 左右时厌氧释磷和缺氧吸磷量均达到最大值^[9], 反硝化聚磷菌约占全部聚磷菌总量的 72% 左右^[10]。

本研究主要针对进水 COD 浓度和 C/N 共同作

用下, UCT 工艺中反硝化除磷作用受到的影响进行研究, 以期为 UCT 工艺处理城市污水的应用发展提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验流程与装置

试验采用螺旋升流式反应系统实现 UCT 工艺, 反应器总有效容积是 85 L, 厌氧反应器有效容积 16 L, 缺氧反应器有效容积 24 L, 好氧反应器有效容积 45 L。进水流量为 9 L/h 左右, 水力停留时间 HRT 为 9 h, 污泥龄 SRT = 15 d, 好氧反应器中上部 DO 为

收稿日期: 2009-09-29; 修订日期: 2009-12-12

基金项目: 科技部国际合作项目(2007DFA90660); 重庆市科技项目(CSTC2006BB7305, CSTC2006AA7003)

作者简介: 张园(1982~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为水污染控制理论与技术, E-mail: windy0327@126.com

3.0 ~ 3.5 mg/L, 缺氧反应器 DO 为 0.5 mg/L. 污泥回流比控制在 40% ~ 60%, 好氧至缺氧的混合液回流比为 200% ~ 250%, 缺氧反应器至厌氧反应器混合液回流比为 100% ~ 150%. 装置与流程见图 1. 本试验分别对厌氧、缺氧和好氧反应器探索系统的释磷和反硝化除磷规律以及系统的除磷效率的影响. 试验中各反应器的进出水均取自相应反应器的进出水口.

1.2 试验水质与分析方法

根据城市生活污水水质, 试验用水由校园生活污水和自来水稀释而成, 同时加入奶粉、葡萄糖、碳酸氢钠、磷酸二氢钾和氯化铵以保证试验所需 N、P 含量、pH 值和调节试验所需的 COD 与 C/N. 试验污水水质见表 1.

表 1 试验污水水质					
Table 1 Raw water quality					
指标	COD/mg·L ⁻¹	TP/mg·L ⁻¹	TN/mg·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N/mg·L ⁻¹	pH
试验污水水质	100 ~ 600	5.4 ~ 7.2	7.5 ~ 102	7.2 ~ 100.9	6.5 ~ 7.5

2 结果与分析

当系统稳定运行后, 控制 C/N 分别为 5、10、15、20、25, 在各 C/N 下调整进水 COD 浓度在 100 ~ 600 mg/L 内变化, 并同步调整系统进水氨氮浓度以保持固定的碳氮比, 测定不同 COD 浓度和 C/N 同时作用下对除磷效果的影响.

2.1 COD 浓度与 C/N 对厌氧释磷速率的影响

COD 浓度与 C/N 对厌氧释磷速率的影响见图 2. 从图 2 可知各 C/N 情况下释磷速率都随着进水 COD 浓度的增加而升高, 但是随着 COD 浓度的进一步升高, C/N 为 5、10、15 的释磷速率很快都发生了明显的转折和下降, 其中 C/N = 15 时这种转折程度明显较比值为 5 和 10 时小了许多, 而 C/N 为 20 和 25 的释磷速率仍有较高的上升. 各 C/N 下的厌氧最大释磷速率见表 2 所示.

表 2 各 C/N 下厌氧最大释磷速率					
Table 2 Max variation of P release rates in anaerobic reactor of different C/N ratios					
C/N	5	10	15	20	25
最大释磷速率 /mg·(g·h) ⁻¹	18.64	25.56	34.34	40.82	41.53

试验中 C/N < 15 时厌氧反应器内的释磷速率变化基本一致, 都是随着 COD 浓度的升高先增大后减小, 因此释磷速率受系统进水 COD 浓度的影响较

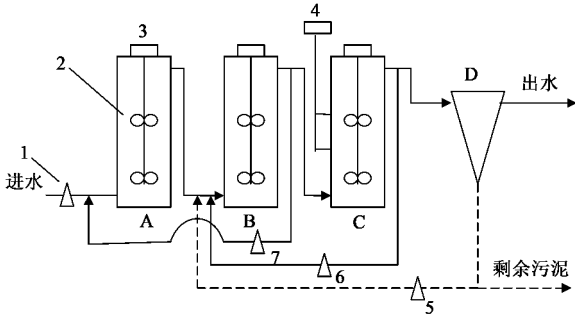


图 1 螺旋升流式反应器脱氮除磷流程示意

Fig.1 Schematic diagram of SUFR biological phosphorus and nitrogen removal system

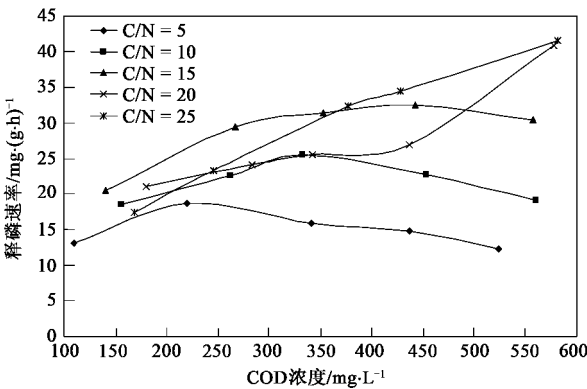


图 2 随 COD 和 C/N 变化的厌氧反应器释磷速率

Fig.2 Variation of P release rates in anaerobic reactor at variety of influent COD and C/N ratios

大, 尤其当 COD 浓度高于 500 mg/L 以后, 较高的有机物浓度会促进异养菌的增殖而破坏系统平衡, 在 C/N = 5 时发生了污泥膨胀现象, 使系统整体处理效果变差. 当 C/N > 20 以后, 厌氧释磷速率基本随着系统进水 COD 浓度的升高一直保持上升趋势, 也未发生污泥膨胀, 考察其原因, 可能是由于 TN 的进水浓度按照相应的 C/N 随进水 COD 浓度而升高. 而随着 C/N 比试验的 C/N 增高, TN 的增幅是逐渐减小的. 图 3 为系统进水 TN 浓度, 从中可以看出, 当 C/N > 20 时, 系统进水 COD > 500 mg/L 的进水 TN 浓度仅在 20 mg/L 左右, 此时较低的 TN 浓度会

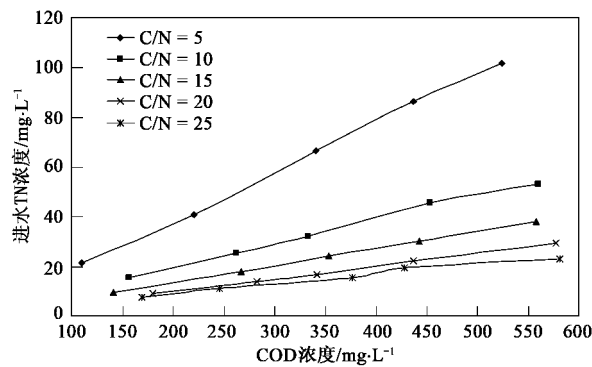


图3 进水 TN 浓度

Fig. 3 Variation of influent TN in anaerobic reactor

抑制异养菌增殖,因此释磷速率并未受太大的影响.

2.2 COD 浓度与 C/N 对缺氧反硝化吸磷速率的影响

图 4 是各系统进水 C/N 下缺氧反应器内反硝化吸磷速率. 在进水 COD 浓度在 100 ~ 600 mg/L 范围内时,只有 C/N = 5 时缺氧反应器内一直保持吸磷. 在进水 COD > 350 mg/L 后, C/N 为 10、15、20 和 25 均由吸磷变为释磷;而当进水 COD < 350 mg/L 时, C/N 为 10 和 15 的吸磷速率较高而且相差不大,但 C/N 为 20 的吸磷速率较前者稍低,当 C/N 为 25 时吸磷速率降低到 < 1 mg/(g·h).

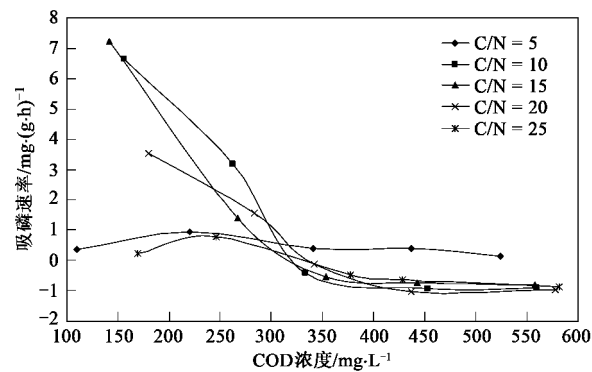


图4 随 COD 和 C/N 变化的系统缺氧反应器吸磷速率

Fig. 4 Variation of P uptake rates in anoxic reactor at variety of influent COD and C/N ratios

图 5 是缺氧反应器内硝酸盐的进水浓度. 随着系统进水 COD 的增长,由于每个固定 C/N 的进水 TN 浓度也随之增长,而回流到缺氧反应器内的硝酸盐浓度也呈上升趋势. 在进水 COD < 350 mg/L 的区间内,图 5 中硝酸盐氮的浓度随 C/N 的增加而降低,此时图 4 相应 COD 浓度时的吸磷速率随着 C/N 的增加而降低. 只是当 C/N = 5 时,由于其在厌氧阶段释磷效果差,所以此时的吸磷速率并不高. 随着 COD 的增长,反硝化菌与反硝化聚磷菌会产生竞

争,这对反硝化聚磷菌的生长和功能的发挥不利,而当 COD 约大于 350 mg/L 之后,图 4 中所示除 C/N = 5 以外的其他各吸磷速率曲线都降低到零以下,说明此时在缺氧反应器中出现了释磷现象,且从数据来看,此时各 C/N 的缺氧反应器内总体吸磷速率并无太大差别. 当 COD < 350 mg/L 时,缺氧反应器内硝酸盐氮对反硝化聚磷菌造成影响的原因是反硝化聚磷菌的反硝化速率与普通反硝化菌的反硝化速率相比要低很多,因此,当反硝化菌与反硝化聚磷菌竞争硝酸盐氮时,只有当硝酸盐氮浓度超过普通反硝化菌的需求时反硝化聚磷菌才能被刺激生长,反之则被抑制.

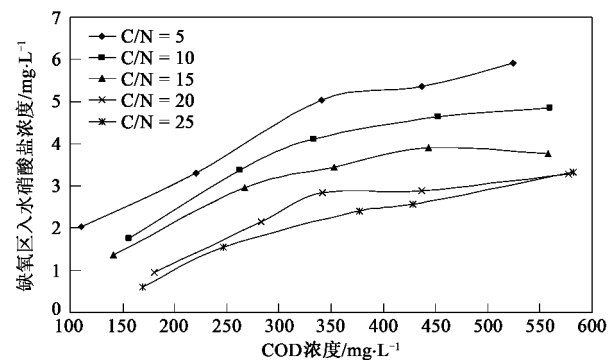


图5 随 COD 和 C/N 变化的缺氧反应器硝酸盐进水浓度

Fig. 5 Variation of nitrate in anoxic reactor at variety of influent COD and C/N ratios

表 3 为缺氧反应器内 PHB 浓度的变化,各 C/N 试验中在缺氧反应器中 PHB 的含量是先减小后增大的. 在 COD 浓度较低时,内聚物 PHB 主要消耗用来支持反硝化脱氮和反硝化除磷作用,随着进水 COD 浓度的升高,缺氧反应器内 COD 浓度也随之升高,当进水 COD 浓度为 300 ~ 400 mg/L 时,缺氧反应器内 COD 浓度普遍升至 60 mg/L 以上,这时在缺氧反应器内存在反硝化吸磷的同时也进行着释磷这一过程,而在释磷的同时又对内聚物 PHB 进行了补充,因此这时使缺氧反应器内 PHB 的含量并没有太大的变化. 反硝化吸磷与释磷 2 个过程综合作用的结果是降低了吸磷速率,直到当释磷作用大于吸磷作用,这时反映为缺氧反应器内出现了释磷现象,也就是图 4 中 COD > 350 mg/L 之后缺氧反应器内体现出的释磷结果. 对照最后 2 个 COD 浓度范围 PHB 浓度变化的数据可以发现,虽然此时的缺氧反应器内 COD 浓度之差普遍有 50 mg/L 左右,但各 C/N 下的 PHB 含量变化相差并不大,这可能是由于此时于微生物体内的 PHB 已接近饱和.

表 3 各 COD 范围和 C/N 下缺氧反应器内 PHB 浓度的变化¹⁾/mg·L⁻¹Table 3 Variation of PHB in anoxic reactor at variety of influent COD and C/N ratios/mg·L⁻¹

COD 浓度/mg·L ⁻¹	C/N = 5	C/N = 10	C/N = 15	C/N = 20	C/N = 25
100 ~ 200	-109	-98	-102	-97	-98
200 ~ 300	-62	-57	-52	-46	-48
300 ~ 400	3	15	12	17	16
400 ~ 500	23	41	47	51	56
500 ~ 600	37	45	48	58	62

1) 表中 PHB 变化均为缺氧反应器出水与进水浓度之差,正值表示 PHB 浓度增加,负值表示 PHB 浓度在缺氧反应器内减少

2.3 COD 浓度与 C/N 对好氧吸磷速率的影响

图 6 是各系统进水 C/N 下好氧反应器内在不同进水 COD 浓度下的吸磷速率. 图中除 C/N 为 5 和 10 的吸磷速率在 COD 浓度 >200 mg/L 之后出现了降低,其他 3 条曲线表示的吸磷速率都随着 COD 浓度的增高而升高. 由于在厌氧反应器的释磷并不充分使得 C/N = 5 时的吸磷速率在进水 COD 为 200 mg/L 之后下滑,结合图 2 和图 4 可知,C/N = 5 的厌氧释磷、缺氧吸磷和好氧吸磷这 3 条曲线线型相似,这也可以说明厌氧释磷对于整个除磷工艺的效果影响是非常大的. 当 COD < 300 mg/L 时,在缺氧反应器内反硝化吸磷作用而消耗的部分 PHB,又未在缺氧反应器内得到补充,所以 C/N 为 15、20 和 25 这 3 条曲线表示的吸磷速率在进水 COD < 300 mg/L 时并不是很高,但随着 COD 浓度的升高,由于缺氧反应器进水 COD 浓度的升高,原本在缺氧反应器的反硝化释磷所消耗的 PHB 得到了充分补充,因此好氧反应器内的吸磷速率大幅度提高.

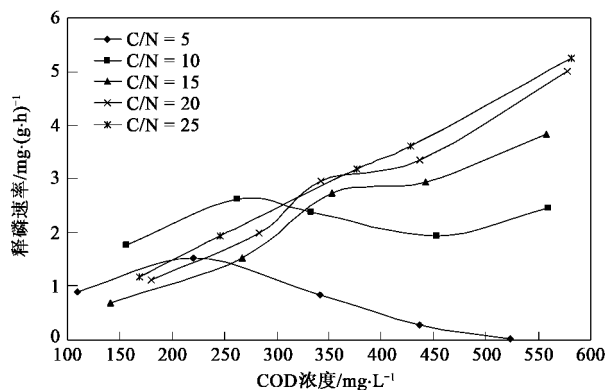


图 6 随 COD 和 C/N 变化的好氧反应器吸磷速率

Fig. 6 Variation of P uptake rates in aerobic reactor at variety of influent COD and C/N ratios

2.4 COD 浓度与 C/N 对 TP 去除率的影响

图 7 是各系统进水 C/N 下不同进水 COD 时 UCT 系统对 TP 的去除率. 从图 7 可知, C/N 为 5 和 10 这 2 条 TP 去除率曲线有较大的起伏,但基本都

在进水 COD 为 250 ~ 450 mg/L 范围内稳定在 85% 以上. 而 C/N 为 15、20 和 25 的去除率变化都不太大,只是在进水 COD < 250 mg/L 和 > 450 mg/L 左右略有下降,而在 COD 为 250 ~ 450 mg/L 时 TP 去除率都保持在 90% 以上,最高达到 99.62%. 在进水 COD < 250 mg/L 和 > 450 mg/L 左右时, C/N 为 15、20 和 25 的去除率也仍可保持大于 60%.

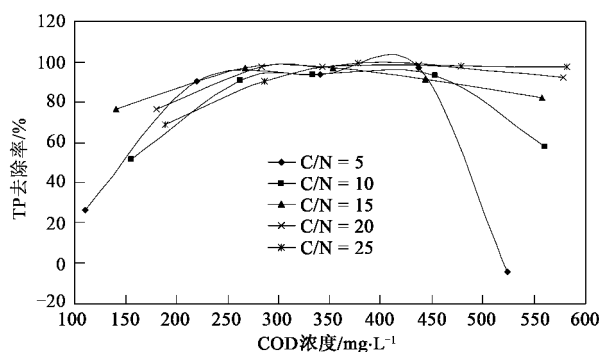


图 7 随 COD 和 C/N 变化的 TP 的去除率

Fig. 7 Removal efficiency of TP rates at variety of influent COD and C/N ratios

通过以上分析,结合图 7 可以看出,在系统进水 COD 浓度 250 ~ 450 mg/L 范围内,各 C/N 的 TP 去除率均较稳定,并能达到 90% 左右,最高去除率在 C/N = 25 时可达 99.62%. 而此 COD 浓度范围与城市生活污水的 COD 浓度范围^[11]基本吻合. 当 COD 高于 450 mg/L 后,由于缺氧反应器也在释磷,后续好氧反应器内并不能将释放的磷及时吸收而使得去除率下降. 当 COD 低于 250 mg/L 时由于较低的 COD 浓度不利于厌氧反应器内的释磷作用,同时各 C/N 的进水 TN 浓度也较低,这使缺氧反应器内硝酸盐浓度较小而不利于反硝化吸磷作用.

3 结论

(1) 在进水 C/N 和 COD 浓度同时作用下,当 C/N < 15 时,厌氧反应器内释磷速率随着 COD 的升高先增大后减小,当 C/N > 20 之后,由于进水 TN 浓

度较低,抑制了异养菌的增殖,释磷速率并未有明显下降.

(2)UCT 工艺的缺氧反应器内有明显的反硝化吸磷现象,而且进水 COD 和 C/N 对反硝化吸磷影响很大.在进水 COD < 350 mg/L 时吸磷作用较明显;COD > 350 mg/L 之后由于碳源的影响,缺氧反应器内以释磷为主,并同时反硝化吸磷消耗的 PHB 进行了补充;当进水 COD < 350 mg/L 时,进水 C/N 为 10~20 对反硝化吸磷的促进较明显,且随着比值的增加促进作用逐渐减小.

(3)当系统进水 COD 浓度在 250~450 mg/L 的范围内时,UCT 工艺能保持 80% 以上较稳定的 TP 去除率,最高去除率可达到 99.62%,而这基本与城市生活污水 COD 浓度范围相吻合.过高的进水 COD 会导致在好氧反应器内不能吸收缺氧时释放的磷而使去除率下降.

参考文献:

- [1] 王振,袁林江,刘爽.进水方式及水质对厌氧/缺氧系统反硝化聚磷的影响研究[J].水处理技术,2009,35(8):35-38.
- [2] Temmink H, Petersen B, Isaacs S, *et al.* Recovery of biological phosphorus removal after periods of low organic loading[A]. In: Paper Presented at the Water Quality International'96, IAWQ 18th Biennial Conference[C]. Singapore: 1996. 23-28.
- [3] 郭海娟,马放,沈耀良. C/N 比对反硝化除磷效果的影响[J].环境科学学报,2005,25(3):367-371.
- [4] Merzouki M, Bernrt N, Delcenés J P, *et al.* Biological denitrifying phosphorus removal in SBR: effect of added nitrite concentration and sludge retention Time[J]. Water Sci Tech, 2001,43(3):191-194.
- [5] 张小玲,张立卿,袁林江,等.硝酸盐浓度对反硝化聚磷菌诱导的影响[J].中国给水排水,2006,22(13):105-108.
- [6] 刘慧,米海蓉.硝氮对反硝化除磷系统效率的影响[J].大庆石油学院学报,2006,30(4):43-45.
- [7] 傅金祥,池富强,王颖,等.反硝化作用脱氮除磷特性的静态试验[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2007,23(2):284-287.
- [8] 曹长青,雷中方,胡志荣,等.反硝化除磷过程中的影响因素探讨[J].中国给水排水,2005,21(7):22-25.
- [9] Stagaard K, Christensson M, Lie E, *et al.* Anoxic biological phosphorus removal in a full-scale[J]. Water Res, 1997,31(11):2719-2726.
- [10] 罗固源,张瑞雪,王丹云,等. SUFR 系统进水 COD 浓度对反硝化除磷的影响[J].重庆大学学报(自然科学版),2005,28(1):121-125.
- [11] 黄满红,李咏梅,顾国维.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[J].环境科学,2009,30(5):1499-1505.