

## Plackett-Burman Design 与均匀设计法优化玫瑰色微球菌固定化脱氮的性能

周明辉<sup>1</sup> 荚荣<sup>2\*</sup>

(1. 合肥师范学院 生命科学学院 安徽 合肥 230061)

(2. 安徽大学 生命科学学院 安徽 合肥 230601)

**摘要:** 【目的】采用 Plackett-Burman Design (PBD)与均匀设计(Uniform Design, UD) 优化玫瑰色微球菌(*Micrococcus roseus*)固定化脱氮的条件, 以提高其脱氮性能。【方法】选择聚乙烯醇(Polyvinyl alcohol, PVA)与海藻酸钠(Sodium alginate, SA)作为固定化细胞材料, 研究其成球方式与性能, 应用 PBD 对 9 个影响脱氮效果的因素进行显著性检验, 筛选出 PVA、SA、温度、菌液接种量、菌球量 5 个显著性因素( $P<0.05$ )。采用 UD 对 5 个显著因素进行条件优化, 优化数据通过 Minitab 与 Matlab 软件进行逐步回归分析, 并建立二阶多项式模型。【结果】最优脱氮条件为 PVA 9.6%、SA 2.2%、温度 33.4 °C、菌液接种量 8%、菌球量 500 个/100 mL, 连续脱氮 72 h, 最高脱氮率达到 60.9%。【结论】PBD 与 UD 的联合使用能够在显著因子筛选与寻优中发挥重要的作用。连续脱氮试验表明, 玫瑰色微球菌去除氨氮主要通过同化、硝化与反硝化途径。

**关键词:** 玫瑰色微球菌, 固定化, 脱氮, Plackett-Burman Design, 均匀设计

## Application of Plackett-Burman Design and Uniform Design to the optimization of nitrogen removal performance of immobilizing *Micrococcus roseus*

ZHOU Ming-Hui<sup>1</sup> JIA Rong<sup>2\*</sup>

(1. College of Life Sciences, Hefei Normal University, Hefei, Anhui 230061, China)

(2. College of Life Sciences, Anhui University, Hefei, Anhui 230601, China)

**Abstract:** [Objective] A combination of Plackett-Burman Design (PBD) with Uniform Design (UD) was applied to optimize the nitrogen removal performance of immobilizing *Micrococcus roseus*. [Methods] Polyvinyl alcohol and Sodium alginate were used to immobilize cells. Using PBD, five factors including PVA, SA, temperature, the inoculation amount and the amount of pellet were selected from nine factors based on their significance ( $P<0.05$ ). Next, UD was used to further optimize these five significant factors in order to improve nitrogen removal effect. Further, these data were analyzed by stepwise regression and second-order polynomial, which were based on Minitab and Matlab.

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(No. 070413132); 安徽大学人才队伍建设项目

\*通讯作者: ✉: ahujiarong@163.com

收稿日期: 2014-11-27; 接受日期: 2015-02-11; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2015-03-09

**[Results]** The optimum conditions are as follows: PVA 9.6%, SA 2.2%, 33.4 °C, the inoculation amount 8%, the pellet number 500 per 100 mL, and the highest value of nitrogen removal rate peaked 60.9% after 72 h operation for nitrogen removal. **[Conclusion]** The combination of PBD with UD is an effective way to select significant factors for the optimization of denitrification performance of *Micrococcus roseus*. And *Micrococcus roseus* removes ammonia mainly through assimilation, nitrification and denitrification.

**Keywords:** *Micrococcus roseus*, Immobilization, Nitrogen removal, Plackett-Burman Design, Uniform Design

固定化微生物技术是通过物理或化学的方法将分散游离的微生物细胞固定在某一限定空间区域内,以提高细胞的浓度,使其保持较高的生物活性并能够反复利用的方法<sup>[1]</sup>。该技术克服了生物细胞太小、固液分离难、易造成二次污染的缺点,保持了高效低耗、稳定性强、生物密度高、耐冲击负荷强、运行管理简单等优点,在废水处理领域有广阔的应用前景<sup>[2-4]</sup>。

氨氮是废水中的主要污染物之一,导致水体的富营养化,引起微生物的过量繁殖,堵塞输水管道以及腐蚀工程设备等<sup>[5-6]</sup>。近年出现了利用微球菌属处理氨氮废水的报道。例如,许萍妹和李文英<sup>[7]</sup>利用微球菌处理焦化废水中的高浓度氨氮,48 h后氨氮去除率达到35.9%。由于微球菌属在好氧状态下具有氨化及硝化功能,而在厌氧条件下能进行反硝化作用,因此对该菌进行固定化包埋,使其处于不同氧浓度下,从而达到除氨脱氮的作用<sup>[8-9]</sup>。

Plackett-Burman Design (PBD)与均匀设计(Uniform Design, UD)都是优化试验条件的数学统计方法,在对目标因素的统计学检验显示出较高的效率<sup>[10]</sup>。PBD属于部分析因设计中的二水平设计,能够在较少的实验和时间内,从众多的过程变量中筛选出最为重要的几个因素,确定最优的因素组合,再进行后续的优化细调<sup>[11]</sup>。UD是由我国数学家方开泰开创的一种变量优化方法,该法能够大幅度减少多变量的实验次数,从而节省时间和实验资源<sup>[12-13]</sup>。随着数学统计软件的发展,PBD与UD在工业设计、生物化学工程以及培养基的优化等众多方面得到广泛的应用<sup>[14-16]</sup>。

本试验选择经济实用的PVA、SA作为固定化材料,对玫瑰色微球菌进行包埋,联用PBD与UD对固定化脱氮性能进行优化,以获取最优脱氮条件,为该菌的实际应用奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 菌株:** 玫瑰色微球菌(*Micrococcus roseus*),由本实验室分离纯化。

**1.1.2 培养基:** 基础培养基(g/L): CH<sub>3</sub>COONa 6.0, MgSO<sub>4</sub> 0.1, NH<sub>4</sub>Cl 2.4, NaHCO<sub>3</sub> 0.1, NaCl 5.0, 复合维生素溶液 12 mL, pH 7.0–8.0, 0.1 MPa 灭菌 20 min。

复合维生素溶液(g/L): 生物素 0.10, 烟 0.35, 烟酸硫胺素 0.30, 对氨基基苯甲酸 0.20, 泛酸钙 0.10, 维生素 B<sub>12</sub> 0.05, 盐酸吡哆胺 0.10, 过滤除菌。

人工模拟氨氮废水(g/L): CH<sub>3</sub>COONa 1.5, NH<sub>4</sub>Cl 2.5, NaCl 3.0, MgSO<sub>4</sub> 0.1, pH 7.0–8.0, 0.1 MPa 灭菌 20 min。

### 1.2 方法

**1.2.1 固定化菌球的制备:** 将培养至对数期的菌悬液注入不同浓度的PVA或SA溶液中,搅拌均匀,转移至50 mL滴管中,控制适当流速,滴至冰浴CaCl<sub>2</sub>溶液中制作菌球,过滤,用无菌生理盐水洗涤2–3次,4 °C交联2 h,备用。

**1.2.2 不同固定化材料成球性能的研究:** 选择不同浓度的PVA、SA、CaCl<sub>2</sub>进行固定成球试验,研究单因子与复合因子固定化菌球的性能,包括成球的难易程度、菌球的机械强度、菌球的传质性以及失水率,以此选择最优的固定方式。

**1.2.3 Plackett Burman 试验设计<sup>[11]</sup>:** 选择 PVA、SA、CaCl<sub>2</sub>、pH、温度、转速、脱氮时间、菌液接种量、菌球量 9 个影响因素,以脱氮率作为响应值,采用  $N=15$  的 Plackett-Burman 设计表进行两水平试验,以筛选出影响脱氮率的显著因素,进行后续优化。

**1.2.4 均匀设计(UD)<sup>[12]</sup>:** 基于 PBD 试验结果,对显著因素采用 UD 法进行优化,以确定最优的脱氮条件与脱氮率。

**1.2.5 脱氮率计算公式:**  $M = \frac{m_0 - m_n}{m_0} \times 100\%$

式中:  $M$ : 脱氮率;  $m_0$ : 初始氨氮含量;  $m_n$ : 处理后氨氮含量,  $n$  为处理批次( $n=0, 1, 2, \dots, n$ )。

**1.2.6 玫瑰色微球菌脱氮机理的推测:** 在最优固定化脱氮条件下,进行连续脱氮试验,每隔 12 h 检测水样中的总氮(TN)、氨基氮(NH<sub>3</sub>-N)、硝基氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、亚硝基氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)的含量,推测菌株的脱氮机理,测定方法依次为碱性过硫酸钾氧化紫外分光光度法(GB11894-89)、蒸馏滴定法

(GB7478-1987)、酚二磺酸分光光度法(GB7480-87)、N-(1-萘基)-乙二胺光度法(GB7493-87)<sup>[17]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同固定化材料成球的性能

利用 PVA、SA 以及 PVA+SA 分别与 CaCl<sub>2</sub> 进行成球试验,比较菌球性能,确定最优的成球方式与固定材料的浓度,结果见表 1、2、3。

由表 1 可知,当 PVA 浓度低于 7%,难以成球,在 PVA 与 CaCl<sub>2</sub> 浓度分别在 8%–10%和 2%–4%时,制备的小球具有一定的弹性与强度,达到试验要求;由表 2 可知,SA 浓度低于 3%时,难以成球,且失水率较高易自溶,当 SA 浓度达到 5%,流动性较差,成球难度较大,以 4% SA 与 3%–5% CaCl<sub>2</sub> 制备的小球性能较理想;由表 3 可知,应用 PVA+SA 复合固定成球时,PVA 浓度低于 7%,难以成球,SA 浓度大于 3%,制作小球难度较大,在 PAV 7%–10%、SA 2%–3%、CaCl<sub>2</sub> 2%–3%条件下,制备小球性能达到试验要求。

表 1 PVA 固定化小球性能  
Table 1 Capability of PVA immobilization beads

PVA (%)	CaCl <sub>2</sub> (%)	成球性 Sphericity	机械强度 Mechanical strength (g)	传质性能 Mass transfer performance (min)	失水率 Water loss rate (%)
6	2–4	—	—	—	—
7	2–4	扁平	—	—	—
8	2	+	3.43	1	20
8	3–4	+	5.11	2	16
9	2–4	+	5.11	2	15
10	2	+	5.11	3	13
10	3–4	+	6.84	3	10

表 2 SA 固定化小球的性能  
Table 2 Capability of SA immobilization beads

SA (%)	CaCl <sub>2</sub> (%)	成球性 Sphericity	机械强度 Mechanical strength (g)	传质性 Mass transfer performance (min)	失水率 Water loss rate (%)
1	1–5	—	—	—	—
2	1–5	—	—	—	—
3	1–5	±	3.43	1	30
4	1–2	+	5.11	1	26
4	3	+	6.84	1	18
4	4–5	+	6.84	2	15
5	1–5	+	8.44	2	10

通过PVA与SA的单因子与复合因子固定试验发现,复合因子固定菌球的机械强度、传质性、失水率都优于单因子固定,可作为后续试验的固定化方式。

## 2.2 Plackett-Burman 试验设计及相应值

在成球试验的基础上,选择PVA+SA复合固定化进行脱氮,并确定PB设计的因素与水平,响应值为脱氮率,结果见表4、5。

表3 PVA+SA 固定化小球的性能  
Table 3 Capability of PVA and SA immobilization beads

PVA (%)	SA (%)	CaCl <sub>2</sub> (%)	成球性 Sphericity	机械强度 Mechanical strength (g)	传质性 Mass transfer performance (min)	失水率 Water loss rate (%)
6	1-2	2	—	—	—	—
6	3-4	2-3	扁平	—	—	—
7	1	2-3	扁平	—	—	—
7	2-3	2-3	+	3.43	1.5	18
8	2-3	2-3	+	6.84	2.0	15
9	2-3	2-3	+	8.44	2.0	13
10	2-3	2-3	+	6.84	3.0	11

表4 Plackett-Burman 设计因素水平及编码  
Table 4 Factor levels and coding of Plackett-Burman Design

水平 Level	SA (A) (%)	PVA (B) (%)	CaCl <sub>2</sub> (C) (%)	pH (D)	温度 Temperature (E) (°C)	转速 Rotating speed (F) (r/min)	脱氮时间 Nitrogen removal time (G) (h)	菌液接种量 Inoculation Amount (H) (%)	菌球量 Pellet number (J) (/100 mL)
-1	2	7	2	6	28	100	24	10	200
0	3	8	3	8	34	130	48	15	300
1	4	9	4	10	40	160	72	20	400

表5 Plackett-Burman 试验设计及响应值  
Table 5 Experimental design and response value of Plackett-Burman

试验号 Test No.	因素水平 Factor level										脱氮率 Nitrogen removal rate (%)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	实验值 Experimental value	预测值 Predictive value	
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	40.200±0.306	40.1	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.800±0.361	38.2	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.700±0.361	35.4	
4	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	17.100±0.738	17.2	
5	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	15.400±0.700	15.3	
6	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	23.200±0.306	23.3	
7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	5.800±0.400	6.1	
8	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	13.100±0.764	13.4	
9	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	20.600±0.436	21.1	
10	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	24.300±0.416	24.1	
11	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	16.700±0.513	16.2	
12	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	16.900±0.451	17.3	
13	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	13.400±0.681	13.2	
14	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	10.600±0.625	11.3	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39.200±0.808	38.4	

运用 Minitab 软件对表 5 结果进行回归模型建立与方差分析, 结果见表 6。

$R^2$  为该回归模型的确定系数, 越接近 1 表明所设变量对该模型的解释能力越强, 模型的拟合效果越好。由表 6 可知,  $R^2$  为 90.1%, 说明 90.1% 的试验数据可以以此模型解释, 达到试验要求。从  $P$  值看, PVA、SA、温度、菌液接种量、菌球量为最显著因素( $P<0.05$ ), 可信度均大于 95%。

2.3 均匀设计及响应值

在 PBD 试验结果的基础上, 应用均匀设计优化 5 个显著因素, 分别为 PVA、SA、温度、菌液接种量、菌球量, 试验采用  $U_9^5$  设计表进行优化, 72 h 脱氮率作为响应值, 每次试验做 3 次平行, 以便建立回归方程与方差分析, 结果见表 7。

通过 Minitab 数理统计软件对表 7 试验结果进行二元回归模型建立, 得到方程 (1):  $Y=68-111X_1+114X_2+16.7X_3-1.41X_4+0.0567X_5+6.89X_1^2-25.9X_2^2-0.250X_3^2$ 。

并对试验结果的各个因素进行显著性检验与回归模型方差分析, 结果见表 8、9。

由表 9 可知,  $R^2$  为 92.4%, 说明 92.4% 试验数

表 6 各因素显著性分析 Table 6 Significance test of each factor					
项目 Item	效应 Effect	系数 Coef	$T$	$P$	
常数 Constant		0.180 00	18.06	0.000	
A	0.076 67	0.038 33	3.85	0.018	
B	-0.066 70	-0.033 30	2.68	0.025	
C	-0.006 67	-0.003 33	-0.33	0.755	
D	-0.043 33	-0.021 67	-2.17	0.095	
E	0.073 33	0.036 67	3.68	0.021	
F	0.033 33	0.016 67	1.67	0.170	
G	0.053 33	0.266 70	2.68	0.055	
H	-0.060 00	-0.030 00	-3.01	0.040	
J	0.070 00	0.035 00	3.51	0.001	

Note:  $R^2=90.1\%$ .

据可以以此模型解释, 达到试验要求,  $P$  值为 0, 该模型具有显著意义。表 8 中各个因素均显著 ( $P<0.05$ ), 应用 Matlab 软件解方程(1)获得最优脱氮条件: PVA 9.6%、SA 2.2%、温度 33.4 °C、菌液接种量 8%、菌球量 500 个/100 mL, 最高脱氮率为 60.9%, 在最优脱氮条件下做验证试验, 脱氮率达到 58.2%, 与预测值吻合。

表 7 均匀设计与响应值 Table 7 Uniform Design and response factors								
试验号 Test No.	因素水平 Factor level					脱氮率 Nitrogen removal rate (Y) (%)		
	PVA ( $X_1$ ) (%)	SA ( $X_2$ ) (%)	温度( $X_3$ ) Temperature (°C)	菌液接种量( $X_4$ ) Inoculation amount (%)	菌球量( $X_5$ ) Pellet amount (/100 mL)	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
1	7.2	2.2	33	14	150	16	17	17
2	7.5	2.4	37	12	400	25	28	26
3	7.8	2.6	32	10	350	23	25	25
4	8.1	2.8	36	8	300	16	18	18
5	8.4	2.1	31	15	250	16	15	14
6	8.7	2.3	35	13	200	20	17	16
7	9.0	2.5	30	11	150	17	15	18
8	9.3	2.7	34	9	100	20	19	20
9	9.6	2.9	38	16	500	27	26	27

表 8 回归方程系数显著性检验  
Table 8 Significant inspection of regression coefficients

描述 Predictor	系数 Coef	系数标准差 SE Coef	T	P
常数 Constant	67.600 000	141.900 000	0.48	0.639
$X_1$	111.140 000	18.730 000	-5.93	0.000
$X_2$	113.890 000	37.160 000	3.06	0.007
$X_3$	16.676 000	4.566 000	3.65	0.002
$X_4$	1.407 400	0.454 100	-3.10	0.006
$X_5$	0.056 667	0.006 708	8.45	0.000
$X_1^2$	6.899 000	1.162 000	5.93	0.000
$X_2^2$	25.926 000	6.846 000	-3.79	0.001
$X_3^2$	0.250 000	0.068 460	-3.65	0.002

表 9 回归模型方差分析  
Table 9 Variance analysis of regression equation

变异来源 Sources of variation	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of squares	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
模型 Model	8	489.630	61.204	40.30	0.000
误差 Deviation	18	27.333	1.519	—	—
总和 Cor total	26	516.963	—	—	—

Note:  $R^2=92.4\%$ .

## 2.4 玫瑰色微球菌的脱氮机理

在最优脱氮条件下制备菌球,投入人工模拟氨氮废水中进行脱氮试验,每隔 12 h 检测水样中的 TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$  的含量,连续检测 9 个批次,推测玫瑰色微球菌的脱氮机理,结果见图 1。

从图 1 看出, TN 与  $\text{NH}_3\text{-N}$  变化具有一致性, TN 主要成分为  $\text{NH}_3\text{-N}$ 。在脱氮试验 60 h 前,随着  $\text{NH}_3\text{-N}$  的降低,脱氮率升高,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  与  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  含量同时上升,表明水样中存在  $\text{NH}_3\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2^-\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3^-\text{-N}$  转化过程,该菌具有硝化作用;60 h 后,脱氮率趋于稳定,而  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  与  $\text{NO}_2^-\text{-N}$  含量呈下降趋势,且 TN 与  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量差值变大,推测水样中存在  $\text{NO}_3^-\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2^-\text{-N} \rightarrow \text{N}_2$  过程,该菌具有反硝化作用。

## 3 讨论

优良的固定化菌球必须具备较强的机械强度、

较低的失水率以及良好的传质性,才能使包埋的目的菌株更好地应用于实际处理<sup>[18]</sup>。通过 PVA、SA、PVA+SA 三种包埋法制作菌球,结果发现:PVA 制备的固定化菌球,机械强度与传质性较差,失水率低;SA 制备的固定化菌球,机械强度与传质性较好,失水率较高;而 PVA+SA 复合制作的固定化菌球,结合了两者的优点,成球性能最优,有利于进行脱氮试验。

本试验中应用的 Plackett-Burman Design (PBD) 法能够在众多的因素中快速有效地筛选出最显著因子,避免在后期的优化试验中由于因子数太多或部分因子不显著而浪费实验资源<sup>[19]</sup>。PBD 一般都与响应面法(Response surface methodology, RSM)中的中心复合设计(Central composite design, CCD)或者中心组合设计(Box-Behnken Design, BBD)联合使用,以获取显著因素的最优值与响应曲面图<sup>[20]</sup>。CCD 与 CBD 法一般适用于少量的显著因子优化,

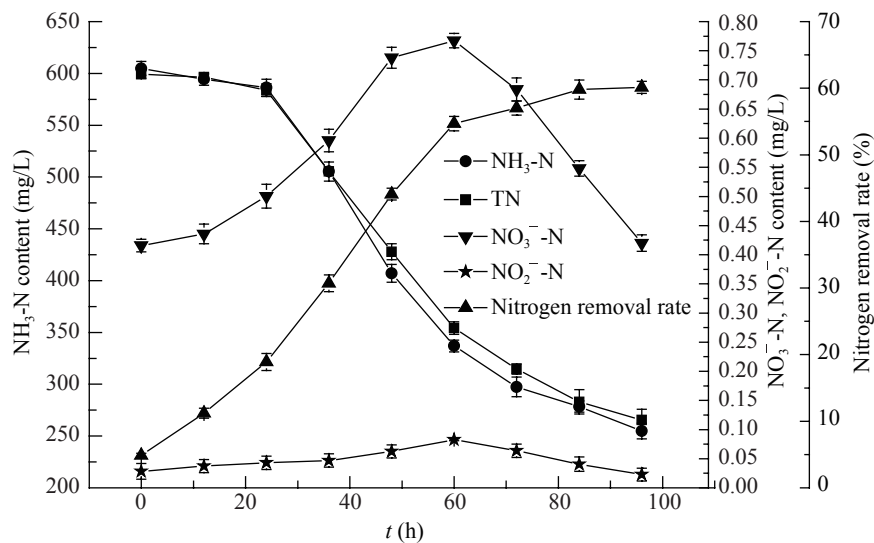


图1 水样中 TN、NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 含量以及脱氮率变化曲线

Figure 1 The change curve of TN, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N and nitrogen removal rate in water samples

如利用 CCD 与 CBD 做 5 因子优化, 试验次数分别达到 32 与 46 次, 显然大幅增加试验次数和难度, 而利用均匀设计法(UD)优化相同数量的因子, 试验次数仅为 9 次。UD 对 PBD 结果进行后续优化, 能够最大限度的减少试验次数, 并能快速寻优, UD 得到的结果也能利用多种统计软件进行回归模型的建立与分析。本试验中 PBD 筛选的显著因子与均匀设计中对各因子方差分析的结果具有一致性, 说明 PBD 与 UD 的联合使用能够在显著因子筛选与寻优中发挥重要的作用。

通过 PVA+SA 对玫瑰色微球菌进行固定化包埋, 有利于氧与营养物质在小球内扩散, 有助于小球由外而内形成好氧区、缺氧区与厌氧区, 实现了该菌同时发生硝化与反硝化作用, 增强了脱氮效果, 减少了处理步骤与成本, 因此固定化玫瑰色微球菌在废水脱氮中具有较大的应用潜力。

## 参考文献

- [1] Zhu QZ. Biological Immobilization Technology and Application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 1-43 (in Chinese)  
朱启忠. 生物固定化技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 1-43
- [2] Zhang MZ, Xu WT, Zhang XF, et al. Immobilization and

- characterization of nonylphenol degrading enzyme[J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36(3): 1-4 (in Chinese)  
张美珍, 徐文韬, 张小凡, 等. 壬基酚降解酶的固定化及特性研究[J]. 环境科学技术, 2013, 36(3): 1-4
- [3] Shen YL, Huang Y, Zhao D, et al. Immobilized Microbial Wastewater Treatment Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 163-176 (in Chinese)  
沈耀良, 黄勇, 赵丹, 等. 固定化微生物污水处理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 163-176
- [4] Qian LB, Yuan MX, Chen BL. Research progress about bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated soil with immobilized microorganism technique[J]. Environmental Science, 2012, 33(5): 1767-1776 (in Chinese)  
钱林波, 元妙新, 陈宝梁. 固定化微生物技术修复 PAHs 污染土壤的研究进展[J]. 环境科学, 2012, 33(5): 1767-1776
- [5] Zhang C, Zhang PY, Sun M, et al. Denitrification effect of heterotrophic nitrifying and aerobic denitrifying bacteria strain qy37 immobilized in absorbent and entrapping materials[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 35(1): 32-37 (in Chinese)  
张晨, 张培玉, 孙梦, 等. 菌株 qy37 吸附包埋固定化的脱氮效果研究[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(1): 32-37
- [6] Wang YY, Wei YS, Zhang SJ. Feasibility analysis of anammox for treating high strength ammonia industrial wastewater[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2013, 33(9): 37-40 (in Chinese)  
王元月, 魏源送, 张树军. 厌氧氨氧化技术处理高浓度氨氮工业废水的可行性分析[J]. 环境科学学报, 2013, 33(9): 37-40
- [7] Xu PM, Li WY. Study on dominant microorganism for removal of COD and NH<sub>3</sub>-N in coke plant wastewater[J]. Coal Conversion, 2005, 28(4): 53-56 (in Chinese)  
许萍妹, 李文英. 优势菌对焦化废水中 COD 和氨氮处理的研究[J]. 煤炭转化, 2005, 28(4): 53-56
- [8] Yu GH, Xu XJ, He PJ. Isolates identification and characteristics of microorganisms in biotrickling filter and biofilter system treating H<sub>2</sub>S and NH<sub>3</sub>[J]. Journal of Environmental Sciences

- (China), 2007, 19(7): 859-863
- [9] Chen W, Wang ZY, Zhao GF, et al. Isolation and performance evaluation of a heterotrophic-nitr obacterium *Micrococcus* sp.[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(8): 1629-1633 (in Chinese) 陈威, 王振宇, 赵更峰, 等. 异养硝化微球菌的分离及性能评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(8): 1629-1633
- [10] Chen DM, Han YB, Gu ZX. Application of statistical methodology to the optimization of fermentative medium for carotenoids production by *Rhodobacter sphaeroides*[J]. Process Biochemistry, 2006, 41(8): 1773-1778
- [11] Plackett RL, Burman JP. The design of optimum multifactor experiments[J]. Biometrika, 1946, 33: 305-325
- [12] Fang KT. Uniform Design and Aniform Design Table[M]. Beijing: Science Press, 1994 (in Chinese) 方开泰. 均匀设计与均匀设计表[M]. 北京: 科学出版社, 1994
- [13] Fang KT. The uniform design: an application of number-theoretic methods to experimental designs[J]. Acta Mathematicae Applicatae Sinica, 1980, 3(4): 363-372 (in Chinese) 方开泰. 均匀设计-数论方法在试验设计的应用[J]. 应用数学学报, 1980, 3(4): 363-372
- [14] Naveena BJ, Altaf M, Bhadrirah K. Selection of medium components by Plackett-Burman design for production of L(+) lactic acid by *Lactobacillus amylophilus* GV6 in SSF using wheat bran[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(4): 485-490
- [15] Lin YS, Wang J. Optimization of butanol production from corn straw hydrolysate by *Clostridium acetobutylicum* using response surface method[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(14): 1422-1428
- [16] Zhang T, Wen SH, Tan TW. Optimization of the medium for glutathione production in *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Process Biochemistry, 2007, 42(3): 454-458
- [17] State Environmental Protection Administration. Water and Wastewater Detection Analysis [M]. 4th Edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 254-284 (in Chinese) 国家环境保护总局. 水和废水检测分析方法 [M]. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 254-284
- [18] Wang JL. Biological Immobilization Technology and Water Pollution Control[M]. Beijing: Science Press, 2002: 1-60 (in Chinese) 王建龙. 生物固定化技术与水污染控制[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1-60
- [19] Zheng N, Chen F, Wang ZY, et al. Modeling and optimization of artificial neural network and response surface methodology in ultra-high-pressure extraction of *Artemisia argyi* Levl. et vant and its antifungal activity[J]. Food Analytical Methods, 2013, 6(2): 421-431
- [20] Ballard TS, Mallikarjunan P, Zhou K, et al. Optimizing the extraction of phenolic antioxidants from peanut skins using response surface methodology[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2009, 57(8): 3064-3072

## 编辑部公告

### 《微生物学通报》英文刊名

《微生物学通报》之前使用的英文刊名“Microbiology”因在国际上有重名,造成了本刊在被国内外作者引用以及国外数据库收录时英文刊名的混乱,这大大影响了本刊在国际上的传播,也不利于对我刊引用数据的统计。经本刊编委会讨论,以及主办单位批准,本刊英文刊名自2010年起变更为“Microbiology China”,缩写为“Microbiol. China”,请各位作者、读者和数据库引用时注意使用。