

度及 COD 去除率都较满意的条件下,应逐步通过提高进水浓度增加负荷,使污泥快速生长,并培养出良好的沉降性;此外由于种子污泥活性高、数量少,起动过程没有必要人工排泥。

2. 采用两相工艺可以使污泥床反应器顺利起动,并培养出颗粒污泥。起动所需时间并不比一相工艺长。

3. 由于起动过程中运行条件变化频繁,因此生物相也随之变化。成熟颗粒污泥表面结构很不规则,生物相分布也很分散,部分区域无多聚体膜,丝菌占绝对优势;部分区域被多聚体膜覆盖,以球杆菌为主;另一些区域则介于二者之间。

4. 成熟颗粒污泥具有良好的沉降性能和产甲烷活性,因此污泥床内污泥浓度可达 56 gVSS/L,处理效果显著。如处理进水浓度为 10—14gCOD/L 的葡萄糖酸化液时,有机负荷可达 80kgCOD/m<sup>3</sup>·d,相应的溶解性 COD 去除率为 75—80%。

### 参 考 文 献

- [1] Lettinga, G., *Biotech. Bioeng.*, 22(2), 699 (1980).  
 [2] Alibhai, K. R. K. and Forster, C. F., *Environ. Tech. Letters*, 7, 193(1986).  
 [3] 吴唯民等,中国给水排水,1(4),30(1985).  
 (收稿日期: 1987 年 9 月 3 日,  
 修改稿收到日期 1988 年 4 月 8 日)

## 在 UASB 反应器中颗粒污泥的培养与应用研究

陈 坚 伦 世 仪

(无锡轻工业学院发酵工程系)

七十年代以来,世界各国出现了一批高速废水厌氧处理工艺,其中上流式厌氧污泥床(简称 UASB)反应器是应用最广泛的装置之一。由于在 UASB 反应器中污泥的沉降性能不仅影响反应器结构,而且直接决定了反应器能否高负荷、高效率地运行,因此近几年来国内外一些学者都开始对具有优良沉降性能和高活性的颗粒污泥进行研究<sup>[1]</sup>。但在我国,目前几乎所有的生产性 UASB 装置内污泥都是絮状的,处理负荷和效率都较低。本文研究了在 UASB 反应器中污泥颗粒化的条件和培养技术,并在此基础上对有关颗粒污泥实用性等方面的问题也进行了一定的探讨。

### 一、材 料 和 方 法

图 1 为颗粒污泥的培养装置,反应器用

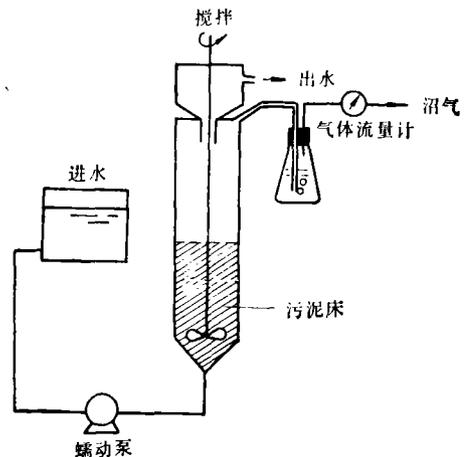


图 1 实验所用 UASB 反应器示意图

有机玻璃管做成,高 40cm,直径 5cm,总容积 810ml。整个系统温度控制在 35 ± 1℃。表 1 为培养用的人工合成废水水质。表 2 为进行实用性研究的丙、丁废醪水质。

表 1 人工合成废水主要成分

成 分	浓度 (mg/L)
葡萄糖	1000—5000
酵母膏	100
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	100
NH <sub>4</sub> Cl	100
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100
NaHCO <sub>3</sub>	1650

表 2 丙、丁废醪水主要成份

成 分	浓度 (mg/L)
COD	21143.4
N	519
P	145
挥发酸	945
悬浮固体	14209
总糖	2448

试验中测定的项目包括: COD (半微量快速烘箱法<sup>[3]</sup>)、SS、VSS、碱度(标准方法)、气体成分(气相色谱法)。

## 二、结果和讨论

(一) 初级启动 (First Start-up) 的污泥颗粒化技术

由于甲烷菌生长速度较慢, 几乎所有厌氧处理工艺的初级启动速度均较慢。所谓初级启动, 是指在厌氧处理装置中通过接种首次培养得到合适而又稳定的厌氧微生物群体这一过程。对 UASB 系统来说, 这里的厌氧微生物还必须固定化。因此, 启动也是颗粒化过程的开始。

### 1. 接种污泥的特性

本试验所用的接种污泥取自无锡南站畜牧场的沼气池。一般接种污泥取来后应进行简单的预处理以除去粗渣等大的惰性物质。接种污泥中一些较重的成分有些可能形成颗粒污泥的“初核”。

研究发现接种污泥量以 5—20kg VSS/m<sup>3</sup> 为宜, 以避免污泥过多流失, 和反应器启动缓慢。

接种污泥沉降性能的 SVI 值应为 50ml/g · DSS 左右或更低<sup>[1]</sup>。本试验 SVI 为 52.5 ml/g · DSS。接种污泥的活性预示了污泥在反应器启动初始阶段的行为。活性低将会使反应器只能长期低负荷运行, 从而造成颗粒化过程较长。但活性很高也不行, 这是因为在培养初期, 污泥沉降性能较差, 如果产生较多的气泡, 会使污泥吸附气泡上升而流失。作者研究发现接种污泥的活性在 0.13—0.50kg COD/kg · VSS · d 范围内比较合适。表 3 给出了试验所用接种污泥的活性测定数据。表中 V 为每千克 VSS (代表厌氧微生物) 每天的最大甲烷产量, 它表征微生物(污泥)降解基质和产甲烷的能力。

表 3 接种污泥活性的测定结果

编 号	1	2	3	4	平均
SS(g/l)	4.21	3.07	4.38	4.02	4.07
VSS(g/l)	1.45	0.94	1.63	1.32	1.34
VSS/SS	0.34	0.31	0.37	0.33	0.34
V(kgCH <sub>4</sub> /kg · VSS · d)	0.173	0.183	0.184	0.170	0.178

### 2. 启动方式和运行控制条件

复活过程: 在将污泥装入反应器之前, 首先用三角瓶进行培养, 按间断投料的方式, 往污泥中加入一定数量较易消化的物质 (如葡萄糖和氮、磷溶液), 在厌氧条件下使污泥产气, 并逐渐提高负荷。当体积负荷达到 2kg COD/m<sup>3</sup> · d 后即可将污泥装入 UASB 反应器中。

负荷增加方式: 现已发现, 在颗粒污泥的培养条件中, COD 污泥负荷起着决定性作用。它决定了启动阶段结束后反应器内微生物群体组成的发展方向和污泥颗粒化的进程。不同研究者曾给出了不同的负荷增加方式<sup>[3,4]</sup>。通过几次重复培养研究, 作者得到以下几点看法:

(1) 一旦反应器内出现严重的酸化 (pH < 6), 如果是在培养初期, 则要使污泥

重新恢复活性所需的培养时间相当长,因此最好立即更换接种污泥,重新进行培养。

(2) 在颗粒污泥培养过程中,超负荷培养法可能是比较合适的污泥负荷增加方式。所谓超负荷培养就是在培养过程中一旦发现反应器 COD 去除率达到较满意的值(80%左右),就立即提高负荷,这样就使反应器始终处于为达到要求的去除率所能承受的负荷之上。此法的基本立足点是需保证废水中有足够的碱度,作者在试验中保证废水碳酸钙碱度在 2000mg/L 以上。而且具体运行中应加强对反应器的监测。

(3) 判断负荷是否应增加的较准确依据是,反应器中 COD 的去除率和气体中  $H_2$  的比例。作者在培养过程中控制 COD 去除率在 80% 左右,气体中  $H_2$  的比例不低于 8%。这是因为前者反映了反应器中污泥生长与营养供给之间的供求平衡关系,而后者则是污泥消化状况最敏感指标。

(4) 污泥负荷的增加与反应器的表面负荷和产气速率都有很大关系,而达到一定的污泥负荷既可通过提高进水浓度,也可通过增大废水流量,从而减小水力停留时间(即改

变表面负荷)来获得。这三者的关系对颗粒化过程的影响还有待进一步研究。

(5) 与某些研究者的结果相同,作者发现一旦污泥负荷超过了  $0.6\text{kgCOD}/\text{kg}\cdot\text{VSS}\cdot\text{d}$ ,反应器内迅速出现大量的颗粒。其原因可能是由于絮状污泥内部的有效扩散系数比结构较密实的颗粒污泥为大,因而在低负荷运行周围环境的基质浓度较低时,有机物的降解受传质过程控制,对形成颗粒污泥不利。

图 2 给出了颗粒污泥培养过程中 COD 污泥负荷增加的情况,同时还给出了产气量等的变化情况。

由于颗粒化是一动态过程,没有明显的起点,因此对整个过程要进行定量描述是很困难的。作者根据反应器内污泥的形态和达到的 COD 负荷,采用与其它研究者<sup>[1]</sup>相同的分类方法,将整个污泥颗粒化过程分成启动运行期、颗粒污泥出现期和颗粒污泥成熟期等三个阶段。各个阶段的特点列于表 4。

值得强调的是,在几次培养过程中都发现,随污泥从絮状到颗粒化的过渡,厌氧污泥中的优势菌出现明显变化,都从球菌占优势逐步过渡到杆菌占优势。与此相应,污泥的

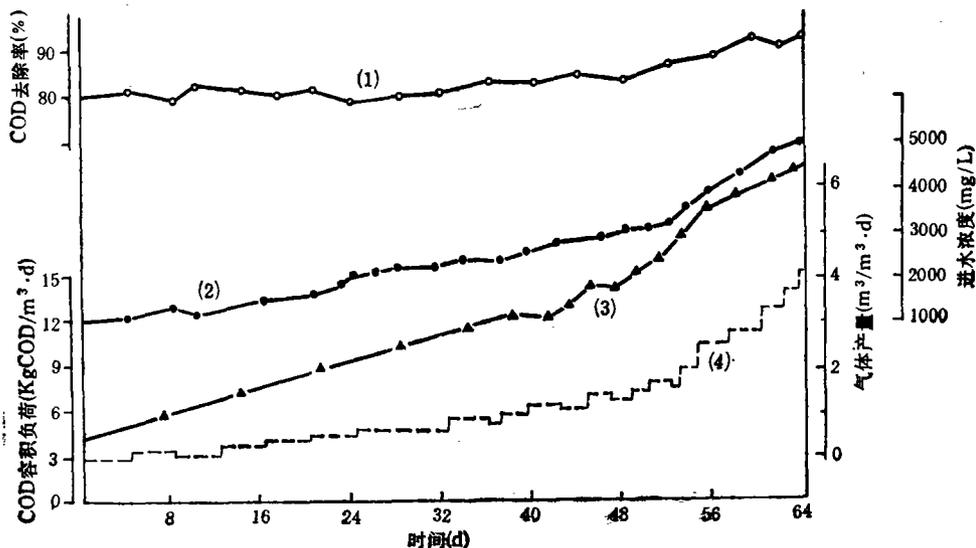


图 2 UASB 反应器中污泥颗粒化过程

1. COD 去除率(%) 2. 进水浓度 (mg/L) 3. 气体产量 ( $\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ) 4. COD 容积负荷 ( $\text{kgCOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ )

表 4 颗粒化过程中三个不同运行期的特点

时 期	起动运行期	颗粒出现期	颗粒成熟期
COD 负荷(kgCOD/ m <sup>3</sup> ·d)	5	5—7.5	14
污泥形态	分散	絮状和小颗粒	颗粒
悬浮层与污泥床界面	清楚	不清楚	较清楚
悬浮层污泥浓度	低	较高	较低
污泥上浮问题	稍有	有	无
污泥沉降性能	不好	不大好	好
优势菌变化情况	球菌	球菌杆菌各半	杆菌

比降解速率常数提高了 1 倍左右<sup>[9]</sup>。

经过 65 天的培养试验研究,我们得到了成熟的颗粒污泥,如图 3 所示。

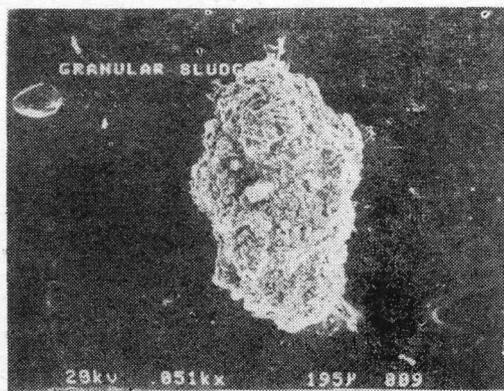


图 3 颗粒外观扫描电镜照片

### 3. 营养条件和环境因素

**废水特性:** 为了减少由于废水成分的不稳定而造成对培养过程的影响,以便于对颗粒化最本质的规律进行研究,作者首先采用人工合成废水培养出了颗粒污泥,然后用丙、丁废醪进行了颗粒污泥的适用性研究。研究发现,培养颗粒污泥所需要的碳、氮、磷比例与一般厌氧处理工艺的要求(100:5:1)相同。作者采用的人工合成废水 COD:N:P 为 100:5:2,而溶剂废水 COD:N:P 为 105:2.6:0.7,均取得了较好的效果。

关于废水的有机物浓度,研究结果表明,采用低浓度废水颗粒化过程较快,原因可能是较稀的废水可提供较高的“选择压力”(Selection Pressure)。实验中废水浓度基本

在 1000—5000mg/L 之间。

**添加剂:** 除碳、氮、磷以外,微量营养元素对厌氧菌的影响也不可忽视<sup>[6,7]</sup>。作者在试验中,对合成废水加入了少量的微量元素 Ni 0.1mg/L、Co 0.05mg/L、Zn 0.5mg/L、FeSO<sub>4</sub> 1.0mg/L。

**温度和 pH:** 试验中温度取 35℃,为中温厌氧发酵。pH 取 7.0 左右,处于甲烷菌的最适 pH 范围内<sup>[8]</sup>。

**搅拌:** 从国内外生产性 UASB 装置来看,大都没有搅拌装置。作者在小型 UASB 反应器底部设置了搅拌器,试验中有时进行间歇搅拌,主要目的是为了克服投产初期发生的污泥脱节现象和增加污水与污泥的接触。从结果分析,发现颗粒污泥的形成是依靠反应器内上升的水流和沼气创造的缓慢搅拌条件。机械搅拌在培养初期能加快起动过程,但到后期则可能会由于剪切力过大而破坏微生物附着或损坏已产生的颗粒污泥,从而对颗粒化过程不利。

### (二) 次级起动 (secondarg stant-up)的污泥颗粒化技术

次级起动的污泥颗粒化技术研究的目的 是为了保证颗粒污泥更广泛全面地应用于生产实际。

1. 采用加入 6% 颗粒污泥的接种污泥所进行的颗粒化过程。

在接种污泥中加入 6.2% (颗粒污泥 VSS 量/接种污泥 VSS 量) 的颗粒污泥,采用同样的培养条件和技术,结果发现整个颗粒化过程从原来的 65 天缩短至 48 天。从培养过程分析,作者认为加速颗粒化过程的原因是,由于颗粒污泥中产甲烷活性生物体占绝大部分 (VSS/SS 高达 0.70—0.80),而原接种污泥的比产甲烷活性较低,因此加入少量的颗粒污泥能相对提高全部接种污泥的甲烷活性。

根据试验结果,作者认为对颗粒化进行很慢的废水,采用颗粒污泥接种将是一很有

前途、非常有效的方法。尽管已有人提出并研究了在接种污泥中加入惰性载体的方法,但由于要涉及到载体的密度、尺寸、表面积以及细菌附着的表面性质等诸因素,颗粒化过程要远比接种颗粒污泥来得复杂。也有学者依靠在接种污泥中加入絮凝剂以提高其沉降性能,但由于颗粒污泥的生长是一生物过程,似乎难以期待絮凝剂对颗粒化有明显的作

## 2. 用合成废水培养得到的颗粒污泥处理丙、丁废醪的适应性研究

将用人工合成废水培养得到的成熟的颗粒污泥装入 UASB 反应器中,然后按比例逐步投加丙、丁废醪,直至其占进水的 100%。从试验结果发现,颗粒污泥基本适应丙、丁废醪,只需 10 天时间就趋于正常。图 5 为反应器过渡期的运行情况。在适应后 20 天的运行试验研究中发现,将合成废水换用丙、丁废醪,颗粒污泥并非毫无变化,最明显的表现是污泥层上层较大颗粒(3mm 左右)逐步变小(达 1mm 左右)。尽管如此,试验最后的

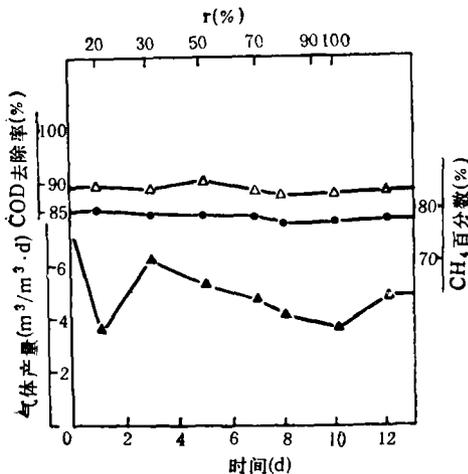


图 4 从合成废水到丙、丁废醪 UASB 反应器的运行情况

1. COD 去除率(%)
2. CH<sub>4</sub> 百分数(%)
3. 气体产量(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d)

$$\text{图中: } r = \frac{\text{丙、丁废醪}}{\text{丙、丁废醪} + \text{合成废水}} \times 100\%$$

COD 容积负荷仍达到  $40 \text{ kg} \cdot \text{COD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ , 这可能是因为反应器内始终保持着活性高、沉降性能优良的污泥。

## 3. 用丙、丁废醪进行颗粒污泥的增殖研究

在已适应了丙、丁废醪的 UASB 反应器中,取出部分成熟颗粒,装入另一个 UASB 反应器,然后通入丙、丁废醪。结果发现,反应器中的颗粒污泥经过 25 天的增殖培养,浓度由  $12.3 \text{ gVSS}/\text{L}$  增至  $23.6 \text{ gVSS}/\text{L}$  (均以总容积计算)。同时发现新产生的颗粒一般出现在污泥床上部,其形状与原颗粒相同,但颜色比合成废水培养得到的为黑,外表也较原颗粒均匀光滑,这无疑与丙、丁废醪水质有关。分析增殖过程,作者认为决定污泥颗粒增殖速度的关键是表面负荷的大小,这是因为成熟的颗粒污泥具有很好的沉降性能,即使在较高的表面负荷下也不易洗出。而相反,颗粒污泥的增殖,要求甲烷菌大量生长是一方面,还必须有足够的“二次核”。较高的表面负荷能使污泥颗粒与流水接触而被剪切力部分破损,产生的碎片即可成为二次接种物,大量的新生颗粒就是在这些“二次核”的基础上产生的。

## 参 考 文 献

- [1] Hulshoff Pol, L. W. et al., *Wat. Sci. Tech.*, **15**, 29(1982).
- [2] 陶大均等,无锡环保,(2),41(1982).
- [3] Lettinga, G. et al., *Biotech. & Genetic Eng. Review*, **21**, 253(1984).
- [4] 远藤银郎著,王长礼译,沼气科技动态,(16),10(1982).
- [5] 伦世仪,生物工程进展,(4),10(1987).
- [6] Murray, W. P. et al., *Appl. Environ. Microbiol.*, (4), 502(1982).
- [7] 张世伟等,中国沼气,(2),12(1984).
- [8] Rumlho, R. S., *Introduction to Wastewater Treatment Processes*, p. 410, 2nd, Academic Press, New York, 1983.

(收稿日期: 1987 年 8 月 13 日, 修改

稿收到日期: 1988 年 2 月 15 日)

### **A Study on Residual Dynamic of the Acaricide Peropal in Apples**

*Wang Ke'ou* (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica, Beijing)

In this paper, residual levels and degradation rates of the acaricide Peropal, tri(cyclohexyl)-(1,2,4-triazol-1-yl) tin, in apples have been studied. 250—500 ppm solutions of tested acaricide were sprayed to the test trees at Beijing and Dalian orchards for 1—4 times. After 14 days of the last spray, residues in the apples were at 0.05—0.16 ppm. The half-life was about 14 days in the apples, about 20 days in soil under the fruit trees respectively.

Method for gas-chromatographic determination of Peropal and its major degraded product (tricyclohexylhydroxytin) has been established. The procedures are: first to convert the residues into their bromides, then to follow reaction with Grignard reagents quantitatively, last to determine the yielded tricyclohexyl-methyltin with GC-FPD. (See pp. 2—6).

### **Start-Up of Upflow Sludge Blanket Reactor and Sludge Granulation under Two-Phase Anaerobic Digestion**

*Yan Yuegen and Qian Yi* (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing)

Start-up of sludge blanket reactor and granulation of sludge are investigated, with highly active and poorly settleable sludge as seed and glucose as substrate, under two-phase mesophilic anaerobic digestion (the acid phase is an upflow reactor of 4.71 without three phase separator within it and methane phase is a typical tower-shaped UASB reactor of 12.31). Requirements for the cultivation of granules are presented. And physicochemical properties of the cultivated granules are analysed systematically. It is shown that the granules are well settleable and highly methanogenic, with settling velocity of 97.1% of granules  $> 2\text{mm/s}$  and methanogenic activity of 811.2 ml  $\text{CH}_4$  STP/gVSS.d and 2.73 g COD/gVSS.d. The reactor can retain large amounts of granules with its concentration of 56g VSS/L, resulting in a high treatability, up to 80kg COD/ $\text{m}^3$ .d with soluble COD removal of 75—80%. (See pp. 6—11).

### **Acclimatization and Application of the Granular Sludge in an Upflow-Anaerobic-Sludge-Blanket (UASB) Reactor**

*Chen Jian and Lun Shiyi* (Fermentation Engineering Department, Institute of Light Industry, Wuxi, Jiangsu Province)

In this paper, the acclimating techniques, the nutritional conditions and the environmental factors about the First Start-up granular sludge in an Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor have been studied. The Second

ary Start-up process has been discussed, too. The results show that the anaerobic sludge can be granulated within 65 days in the laboratory by controlling the sludge loading, when it is seeded with conventional digested sludge and cultivated in synthetic waste water. The granulation process will be shortened for 17 days if 6.2% matured granular sludge is added to the seed. In addition, it only takes 10 days for the granular sludge cultivated in synthetic wastewater to be adapted to treat industrial wastewater while increasing its concentration. (See pp. 11—15).

### **Control over the Process of Steady Anaerobic Digestion**

*Zhang Ahongcheng* (Tian Research Institute of Environmental Protection, Tianjin)

Steady performance of anaerobic digestion of sludge has been made under moderate temperature at one stage, in which detention time was shortened to 15—20 days. However 15 days are available with a view of economic efficiency. 9% dry solid of sludge can be taken when polyelectrolyte ZAT is added into sludge and then dewatered mechanically. Volatile acid satisfactorily indicates the velocity and extent of acidation and of producing methane. The pH value in digestion process depends mainly on buffer of  $\text{NH}_4\text{HCO}_3\text{-NH}_4\text{Ac}$ , and 3000 ppm  $\text{NH}_3\text{-N}$  will not poison methanogenic bacteria. If 0.02g  $\text{CaCO}_3/\text{g OS}$  is added to feed sludge, detention time will be shortened and inhibition of volatile acid is avoidable. Control over the process will keep the rate of producing gas constant, and availability of the digester will increase three times. (See pp. 16—20).

### **The Characteristics of Water Quality in the Suzhouhe River, Shanghai**

*Zheng Yingming and Gao Jianqun* (Institute of Environmental Hydrology, Nanjing College of Water Conservancy, Nanjing)

The Suzhouhe River that flows across Shanghai urban districts, is a badly polluted river and is affected by tides. This paper introduces the natural circumstances of hydrology, meteorology, tides and sediments of the river, and water quality monitoring system as well. Water quality features including oxygen-balance factors, nutrients, physicochemical parameters toxicants, time of black foul smell etc. have been described and analysed. On this basis the paper stresses the effect of tides on water quality and the ultimate oxygen demand in the river. (See pp. 20—26)

### **Effect of Carbon Monoxide Pollution on Woody Plants**

*Zhang Youbiao, Huang Huiyi and Zhang Chuenxing and Wang Yuying* (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang)