

微生物絮凝剂产生菌的筛选及其培养条件研究

杨延梅*

(重庆交通学院 河海学院, 重庆 400074)

摘要:采用常规稀释法和划线纯培养法,从三个污泥样中分离出194株细菌,经过初筛和复筛获得14株产高效MBF的菌种.在对各菌株进行絮凝活性的遗传稳定性检验后,得到I-41菌株.并对其培养条件进行了研究.伴随实验过程获得菌株筛选模式.

关键词:微生物絮凝剂;菌株;培养条件

中图分类号:X703.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-716X(2005)04-0152-05

目前,絮凝方法已广泛用于水和废水的处理.絮凝剂的开发选择是其关键技术之一.传统的无机絮凝剂和合成有机高分子絮凝剂由于在安全性和污染环境方面存在问题,限制了它们的发展.微生物絮凝剂(Microbial flocculant,简称MBF)具有安全、高效、可生物降解和对环境无害等优点,并且能产生絮凝作用的微生物种类多,生长快,易于采取生物工程手段实现工业化,因而微生物絮凝剂的开发是大有前途的.我国微生物絮凝剂的开发大多处在菌种筛选阶段,从生产实际出发,能否筛选出生产高效絮凝剂的菌种是现阶段的关键技术之一.本试验以筛选MBF产生菌和找出其适宜培养条件为目的.

1 试验材料

1.1 供试污泥

- 1)混合污泥:唐家桥污水处理厂消化池污泥;
- 2)生活污水:西南农业大学污水沟污泥;
- 3)工业污泥:北碚大新制药厂废水排放口污泥.

分3批从上述污泥样品中分离筛选获得产MBF的菌种.

1.2 供试培养基

1)菌种分离用培养基:I、II批分离时用牛肉膏蛋白胨培养基.II批分离时用葡萄糖牛肉膏蛋白胨培养基.

2)菌种浅层发酵用培养基:牛肉膏蛋白胨培养液.

1.3 供试废水

- 1)4000mg/L高岭土悬液:过600目筛的高岭土

加水搅拌均匀,制成4000mg/L悬液,其 OD_{660} 值为1.355(OD_{660} 为波长660nm处的光密度值,下同).

2)MBF絮凝效果验证时所用污水:

①生活污水:取自西南农业大学教师生活区排污沟,其 OD_{660} 值为0.189, COD_{mn} :989.7(mg/L).

②制药厂污水:取自北碚大新制药厂废水排放口,其 OD_{660} 值为0.213, COD_{mn} :1116.5(mg/L).

③0.5%蓝黑水:市售红岩牌蓝黑墨水稀释而成,其 OD_{660} 值为0.106, COD_{mn} :148.4(mg/L).

2 试验方法

2.1 菌种分离

采用常规稀释法和划线纯培养法.多次划线分离,直至获取纯菌种,并对之编号.

2.2 菌种浅层发酵培养

将分离所获各菌株分别接入装有30ml培养基的150ml三角瓶中,置于恒温箱中37℃培养60~72h,每天充分摇动2~4次.

2.3 絮凝剂的提取

菌株发酵培养液以3000r/min转速离心10min,提取具有絮凝作用的上清液.

2.4 MBF絮凝活性的检测与计算

考虑到检测的快速性及低成本性,检测指标采用 OD_{660} 值计算其絮凝活性.虹吸20ml4000mg/L高岭土悬液入25ml沉降筒中,加入2ml1% $CaCl_2$ 溶液和2ml絮凝剂,上下振荡,摇匀,静置沉降.初筛时以肉眼观察为主.复筛时,静置沉降2h后,取其上清液于

* 收稿日期:2003-09-24;修订日期:2004-08-08

作者简介:杨延梅(1975-),女,蒙古族,内蒙古人,在读博士研究生,主要从事污染治理及废弃物资源化方面的研究.

722 型分光光度计上,测其 OD_{660} 值,同时以不接菌种的发酵培养液作对照。

1) 絮凝活性计算公式:

$$F \cdot A = 1/OD_{660}(\text{絮凝处理}) - 1/OD_{660}(\text{对照}) \quad (1)$$

式中: $F \cdot A$ ——MBF 的絮凝活性; $OD_{660}(\text{对照})$ ——培养基处理的上清液 OD_{660} 值; $OD_{660}(\text{絮凝处理})$ ——MBF 处理的上清液 OD_{660} 值, $F \cdot A > 10$, 表示 MBF 的絮凝活性较高。

2) 与培养基对照的相对絮凝率:

$$E_{\text{相对基}} = (OD_{660}(\text{对照}) - OD_{660}(\text{絮凝处理})) / OD_{660}(\text{对照}) \times 100\% \quad (2)$$

式中: $E_{\text{相对基}}$ ——MBF 的相对絮凝率; $OD_{660}(\text{对照})$ ——培养基处理的上清液 OD_{660} 值; $OD_{660}(\text{絮凝处理})$ ——MBF 处理的上清液 OD_{660} 值。

2.5 MBF 对实际废水的絮凝效果验证

在 250ml 烧杯中加入 200ml 废水, 5ml 1% $CaCl_2$ 溶液和 10ml 絮凝剂, 用玻棒快搅 100 次左右, 慢搅 80 次左右, 静置沉降 1 小时, 取表层上清液, 用 722 型分光光度计测其 OD_{660} , 其浊度去除率公式如下:

$$E_{\text{去浊}} = (OD_{660}(\text{原水}) - OD_{660}(\text{处理})) / OD_{660}(\text{原水}) \times 100\% \quad (3)$$

式中: $E_{\text{去浊}}$ ——MBF 对废水浊度的去除率; $OD_{660}(\text{原水})$ ——处理前废水在 660nm 的吸光值; $OD_{660}(\text{处理})$ ——MBF 处理后废水在 660nm 的吸光值。

$E_{\text{去浊}} > 20\%$ 有去浊效果; $E_{\text{去浊}} > 50\%$ 去浊效果尚好; $E_{\text{去浊}} > 80\%$ 去浊效果好。

2.6 产 MBF 的菌株适宜培养条件的确定

2.6.1 培养基用量的确定

为了确定浅层培养基中适宜的培养基用量, 特选择 III-17、III-18、III-26、III-28、III-44 进行试验以研究培养液体积对所产 MBF 絮凝活性的影响。其它条件方法不变, 只将培养基体积分别设定为 30ml、40ml、50ml, 同时以 30ml 不接菌种的发酵培养液作对照。

2.6.2 供氧方式和培养时间的确定

选具有稳定絮凝活性的 I-41 菌株, 同时以 I-13 菌株作对比进行试验, 设计如下:

供氧条件选 A、B 两种方式: A: 恒温培养箱, 每天早晚用手充分摇动几次; B: 用摇床 (DHZ-C 型大容量恒温振荡器) 进行间歇振荡培养。具体操作参数为: 静置培养 12h, 然后 150r/min 连续振荡培养 12h。再重复上述过程 2 次, 共培养 72h。

控制温度: 均为 37℃

培养时间分 6 个阶段研究: 当 I-13 和 I-41 两菌株分别被培养 12、24、36、48、60、72h 后, 取出进

行观察、分析及絮凝活性检测。

2.6.3 培养基起始 pH 的确定

浅层发酵用培养基起始 pH 分别设定为 5、6、7、8、9、10、11、12, 用 10% NaOH 和 1:3HCl 调节培养基起始 pH 至设定值后, 121℃ 灭菌 30min, 接入 I-41 号菌株进行浅层液体发酵培养。培养 60h 后, 提取絮凝剂, 以起始 pH 为 7 的发酵培养基作对照作絮凝活性检测试验, 并计算 $E_{\text{相对基}}$ 值, 从而确定 I-41 菌株的适宜起始 pH。

3 结果与讨论

3.1 MBF 产生菌的分离与筛选

3.1.1 菌种的分离、初筛与复筛

从 3 个污泥样中分离出 194 株细菌, 以 $F \cdot A > 10$ 者为高效絮凝剂产生菌, 经初筛、复筛后得 14 株革兰氏染色阳性菌, 各菌株所产 MBF 的 $F \cdot A$ 值如表 1 所示。

表 1 复筛时各菌株所产 MBF 絮凝活性 ($F \cdot A$) 值

菌株号	$F \cdot A$ 值	菌株号	$F \cdot A$ 值	菌株号	$F \cdot A$ 值
对照	0	I-18	19.64	I-41	13.37
I-46	29.16	III-50	19.08	III-17	13.37
I-13	28.09	III-54	18.05	III-18	13.07
I-3	23.61	III-26	15.44	II-85	12.78
I-49	22.15	I-35	15.44	II-7	12.22

III-18 为纤细杆状, III-17 为杆状, III-26 为小杆状, III-50 为短粗杆状, III-54 为短小杆状, II-7 为大杆状 (有芽胞), II-85 细杆状, I-46 和 I-49 为球状且十分相像, I-3 和 I-13 小球状且相像, I-35 小球状, I-41 小细杆状。由此可知, 除 I-46 和 I-49, I-3 和 I-13 可能为同种细菌外, 其它各菌株的形态均不相同, 说明了可产 MBF 的细菌的多样性。

3.1.2 MBF 对实际废水的絮凝效果验证

各菌株所产 MBF 对实际废水的絮凝效果如表 2 所示。各菌株所产 MBF 对制药废水浊度去除率为 29.1% ~ 46.5%, COD_{m} 去除率为 18.6% ~ 33.8%; 生活污水浊度去除率为 85.2% ~ 95.2%, 蓝墨水脱色率为 29.8% ~ 40.4%, COD_{m} 去除率为 24.7% ~ 55.1%。大多数菌株对各废水的浊度去除率依次为生活废水 > 制药废水 > 蓝墨水。

所筛多数菌株对低浓度废水有一定的处理效果, 絮凝活性高低与多种废水实际絮凝效果有很好的相关性, 说明以高岭土悬液絮凝试验所得絮凝活性为指标判断微生物产 MBF 的能力是可行的。

3.1.3 各菌株絮凝活性的遗传稳定性检验

在试验过程中观察发现随保存时间延长和传代

表 2 各菌株所产 MBF 对 3 种废水的处理效果

	原水	I - 18	I - 13	I - 41	I - 35	II - 7	II - 85	III - 54	III - 17	III - 50	III - 18	III - 26
制 药 废 水												
OD ₆₀₀	0.213	0.139	0.120	0.151	0.150	0.135	0.140	0.148	0.150	0.138	0.114	0.314
浊度去除率(%)		34.7	43.7	29.1	29.6	36.6	34.3	30.5	29.6	35.2	46.5	-
COD _{mn} (mg/L)	1116.5	738.8	861.6	813.7	909.4	844.0	765.9	742.0	809.0	861.6	885.5	869.5
COD _{mn} 去除率(%)		33.8	22.8	27.1	18.6	24.4	31.4	33.5	27.6	22.8	20.7	22.1
生 活 污 水												
OD ₆₀₀	0.189	0.013	0.009	0.028	0.009	0.011	0.012	0.013	0.015	0.013	0.016	0.009
浊度去除率(%)		93.1	95.2	85.2	95.2	94.2	93.7	93.1	92.1	93.1	91.5	95.2
蓝 墨 水												
OD ₆₀₀	0.104	0.064	0.067	0.070	0.069	0.067	0.071	0.072	0.065	0.062	0.073	0.068
脱色率(%)		38.5	35.6	32.7	33.7	35.6	31.7	30.8	37.5	40.4	29.8	34.6
COD _{mn} (mg/L)	148.4	77.5	86.2	111.7	93.4	66.6	73.5	78.3	73.5	106.1	101.4	105.3
COD _{mn} 去除率(%)		47.8	41.9	24.7	37.1	55.1	50.5	47.3	50.5	28.5	31.7	29.0

注:脱色率(%) = $(1 - A/A_0) \times 100$ A_0 为原废水 OD₆₀₀ 值, A 为处理后 OD₆₀₀ 值.

次数的增加有些菌株所具有的产 MBF 的特性减弱或基本消失.故于菌株保存近半年,传代 10 次以上,进行菌株所产 MBF 絮凝活性检验和再检验,方法同菌种的复筛.

实验中观察到当各菌株浅层发酵培养近 70h 时,只有 I - 41 菌株培养液极粘稠,且其提取的絮凝剂也较粘稠.并且在 MBF 絮凝活性检测时,只有 I - 41 所产 MBF 使高岭土悬液形成极为明显的絮凝体.故可说明 I - 41 所产 MBF 具较高絮凝活性. I - 41 菌株具有较强的产 MBF 的遗传稳定性.对 I - 41 菌株进行培养观察,可确知: I - 41 菌株为小细杆状,革兰氏染色阳性的兼性厌氧菌.

3.1.4 产 MBF 菌种筛选模式的建立

由于分离后细菌脱离了原来的生存环境,易发生变异.并且,MBF 的形成对于这些细菌的生命活动并不是必需的.所以大多数菌株在传代次数过多后,极易失去产 MBF 的特性.故在筛选菌株时,应增加对菌株遗传稳定性检验这一步骤.

产 MBF 的菌种筛选模式应如下:样品采集及其预处理→菌株分离纯化→浅层发酵培养→絮凝剂的提取→絮凝活性检测→菌种取舍(初筛、复筛)→镜检→各菌株絮凝活性的遗传稳定性检验→用实际废水作 MBF 的絮凝效果验证.

3.1.5 絮凝活性检测方法的改进

在 I - 41 菌株絮凝活性检测中观察到 I - 41 所产 MBF 加入后,立即可使高岭土悬液中的物质聚集成团状或大颗粒状物质下沉,明显比对照效果好得多.但随静置沉降时间的延长,处理组同对照的浊度去除差距渐趋缩小.静置沉降时间过长,会掩盖 I - 41 菌株的絮凝效果.故将静置沉降时间分别设定为 10、20、30、60、90、120min,其结果如表 3.

表 3 I - 41 所产 MBF 随静置沉降时间的 F·A 值和 E_{相对基} 值的变化情况

时间(min)	10	20	30	60	90	120
OD ₆₀₀ (对照)	0.903	0.658	0.402	0.231	0.141	0.100
OD ₆₀₀ (处理)	0.263	0.123	0.070	0.080	0.043	0.042
F·A	2.7	6.6	11.9	8.2	16.2	13.8
E _{相对基} (%)	70.1	81.3	82.6	65.4	69.5	58.0

由表 3 可知,虽然 F·A 值在同一时刻可反映菌株是否具絮凝活性和各菌株絮凝活性的相对大小,但对同一菌株处理而言,它不能很好的体现和反映絮凝实验的现象.所以用 E_{相对基} 来表征比较合适,沉降时间以 ≤ 30min 为宜.

3.2 菌株培养条件对 MBF 絮凝活性的影响

3.2.1 培养基用量对 MBF 絮凝活性的影响

改变培养基用量,进行浅层发酵培养试验,所得结果见表 4.

从表 4 中可知,培养基用量分别为 40ml 和 50ml 时,同菌株所产 MBF 絮凝活性均较 30ml 时有大幅度的降低.这是因为在浅层静培养中,培养液体积越小,培养体系中液面与环境中空气的接触面越大,菌垫离气液界面越近,则 O₂ 的扩散转移及利用效率就更高,即所谓的“浅层效应”.当培养基加入量为 30ml 时,能够使浅层液体发酵培养的浅层效应得到充分体现,此时细菌所产 MBF 的絮凝活性最高,故而浅层发酵用培养基为 30ml.

3.2.2 供氧方式和培养时间对 MBF 絮凝活性的影响

从表观性状观察(表 5)可知,同一菌株在同一供氧条件下,培养液颜色基本上是随培养时间延长而加深.说明菌株生长量基本上是随时间而增长的.同一菌株在摇床培养条件下,发酵液的颜色较同一

表 4 培养液体积对所产 MBF 絮凝活性的影响

菌株号	培养液加入 (ml) 量	30			40			50		
		上清液 OD ₆₆₀ 值	F·A	相对絮凝率 (%)	上清液 OD ₆₆₀ 值	F·A	相对絮凝率 (%)	上清液 OD ₆₆₀ 值	F·A	相对絮凝率 (%)
对照		0.252	0	100						
Ⅲ-17		0.057	13.57	100	0.100	6.03	44.4	0.120	4.36	32.1
Ⅲ-18		0.058	13.27	100	0.082	8.23	62.0	0.098	6.23	46.9
Ⅲ-26		0.051	15.64	100	0.108	5.29	33.8	0.105	5.55	35.5
Ⅲ-29		0.076	9.19	100	0.110	5.12	55.7	0.112	4.96	54.0
Ⅲ-44		0.106	5.46	100	0.172	1.84	33.7	0.170	1.91	35.0

注:相对絮凝率是同菌株不同处理相对于 30ml 处理的絮凝百分率.

表 5 菌体培养液表现性状观察

编 号	I-13	I-13 _床	I-41	I-41 _床
时间 (h)				
12	较对照浑浊	几乎同 I-13	较对照略浑浊,较 I-13 粘稠	几乎同 I-41
24	较 I-13 _床 略粘稠,可见菌体结成丝絮状(稍深黄色)	土黄色,较浑浊,匀一溶液	较深黄色,有点儿粘,可见菌体部分结成絮状	暗土黄色,较浑浊,基本为匀一溶液
36	可见菌体结成的少量丝絮状,中等桔黄色	刚刚取出时,可见菌体分散沉于瓶底,摇动则为均一溶液,浑浊,呈暗土黄色	略粘稠,可见菌体结成的少量棉絮状物,深黄色	较深土黄色,不粘,刚取时可见菌体沉淀于瓶底,摇动则浑浊均一,较 I-41 色深
48	暗黄色,可见菌体结成的丝絮状物	中等深土黄色,浑浊均一,发酵味浓	暗深黄色,见菌体结成的丝絮状物粘稠,倒时有结冻(似果冻)的感觉	暗土黄色,浑浊均一,有浓发酵味道
60	可见菌体结成的丝絮状物,用手摇匀即可打散,液体呈中等深度土黄色,发酵味浓	刚拿时,瓶底可见较大量的菌体沉积(由于静置了 12 小时),手摇动后即形成均一浑浊的溶液,略微深的土黄色,发酵味浓	可见菌体结成的较多丝絮状物,用手摇动不能打散,粘稠结冻(似果冻)现象更加明显,基本成一体.较深黄色(略发暗)发酵味浓	可见小的丝絮状物,手摇动分散不彻底,颜色进一步加深,近褐色,略微有点儿粘稠.发酵味浓
72	中等深桔黄色,浑浊匀一溶液,有发酵味道,不粘稠	中等深土黄色,浑浊均一溶液,有发酵味道	浅褐色,很少很少量的丝絮状体,粘稠成一体,发酵味浓	棕褐色,浑浊均一溶液,有发酵味道

注:①I-13 床、I-41 床为摇床培养的菌株代号;

②补充说明:恒温箱对照和摇床对照的颜色在培养过程中一直为澄清透明的.

时刻恒温箱培养的要深,说明其菌株的数量比同一时刻恒温箱培养的要多.

两种供氧方式下,经历不同培养时间后,菌株所产 MBF 的絮凝活性检测结果如图 1 所示.

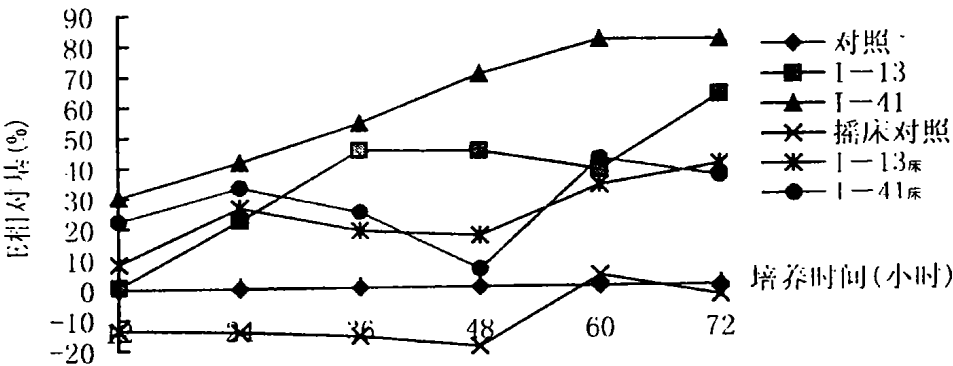


图 1 培养时间对絮凝活性的影响曲线

由图 1 可知,在同一时刻, I-13、I-41 菌株均以恒温箱培养时所产的 MBF 絮凝活性高.可见,

I-41 菌株产 MBF 的适宜供氧方式为恒温箱培养,每天用手充分摇动几次.在此种供氧方式下, I-41 菌株处理的 $E_{\text{相对基}}$ 值以 60h 和 72h 时最高.絮凝实验中观察到 I-41 菌株培养 60h 所产的 MBF 与高岭土悬液混合均匀后将高岭土聚集成团,并且絮凝团很快沉淀下来.而培养 72h 的处理,其聚集团沉降速度稍慢.故 I-41 菌株培养时间以 60h 为宜.

由以上研究可知,采取摇床间歇振荡的培养方式,可使菌种获得充足的氧气供给,有利于菌株的繁殖和生长,使其菌体数量远远大于同时期恒温箱培养的菌株.但只有恒温箱培养的 I-41 菌株在培养

表 6 I-41 菌株的生长情况

起始 pH	对照	5	6	7	8	9	10	11	12
发酵后培养液的 OD_{600} 值	0.029	0.046	0.484	0.617	0.662	0.382	0.028	0.021	0.024

明显增长.以起始 pH 为 8 和 7 时,菌体数量最多,起始 pH 为 6 和 9 时略少.而起始 pH 为 5、10、11、12 的培养基仍为澄清透明与对照培养基几乎无差别,证明在起始 $pH \leq 5$ 和起始 $pH \geq 10$ 时, I-41 菌株不能生存.

不同起始 pH 条件下, I-41 菌株所产 MBF 的絮凝活性检测结果如图 2 所示.

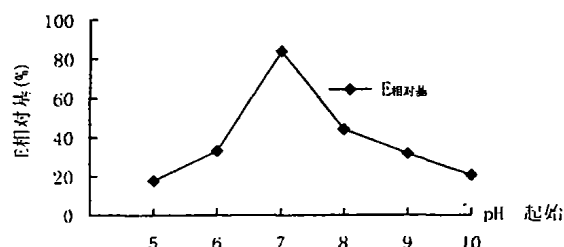


图 2 培养基起始 pH 对絮凝活性的影响曲线

由图 2 可知,起始 pH 为 7h, I-41 菌株所产 MBF 絮凝活性最强.其它起始 pH 条件下,所产的 MBF 絮凝活性很小.故 I-41 菌株产 MBF 的适宜起始 pH 为 7.0.

4 结 论

1)从 3 个污泥样中分离出 194 株细菌,经过初筛和复筛获得 14 株产高效 MBF 的菌种.它们所产 MBF 对所选四种废水均有一定的处理效果.但菌种在保存近半年,传代十次以上时,大部分存在失活问题,仅 I-41 菌株保持其高效的絮凝活性. I-41 菌株为小细杆状,革兰氏染色阳性的兼性厌氧菌.

2)产 MBF 的菌种筛选模式为:样品采集及其预处理→菌株分离纯化→浅层发酵培养→絮凝剂的提取→絮凝活性检测→菌种取舍(初筛、复筛)→镜检→各菌株絮凝活性的遗传稳定性检验→用实际废水

时间 $\geq 36h$ 时,菌株所产 MBF 才表现出明显的絮凝活性.这就说明,有利于 I-41 菌株生长和繁殖的供氧条件,并不利于其产生 MBF.可见,MBF 的产生并不是菌株生命活动所必须的,它只是菌株在特定环境条件下的伴生代谢产物.生存环境条件的改变,可改变菌株产 MBF 的性能,甚至使菌株不产 MBF.

3.2.3 起始 pH 对 MBF 絮凝活性的影响

在不同起始 pH 下,培养 60h 后, I-41 菌株的生长情况如表 6 所示.

由此可见,将 I-41 菌株进行浅层发酵培养 60h 后,起始 pH 为 6、7、8、9 时 I-41 的菌体数量有

作 MBF 的絮凝效果验证.

3) I-41 菌株所产 MBF 的适宜培养条件为:浅层发酵培养基用量为 30mL,起始 pH 为 7.0,37℃ 恒温培养箱中培养,每天用手充分摇动几次供氧,培养时间为 60h.

参考文献:

- [1] 崔蕴霞,肖 锦.铝盐絮凝剂及其环境效应[J].环境污染与防治,1998,20(3):39-41.
- [2] 钟学才.无机高分子絮凝剂——聚合硫酸铁[J].环境科学技术,1993,(4):25-27.
- [3] 李为群,刘 健.高分子絮凝剂开发应用新动向[J].环境污染与防治,1997,19(3):32-36.
- [4] 陆茂林,施大林,王 蕾,等.微生物絮凝剂产生菌的筛选和发酵条件研究[J].工业微生物,1997,27(2):25-28.
- [5] 张 彤,朱怀兰,林 哲.微生物絮凝剂的研究与应用进展[J].应用与环境生物学报,1996,2(1):95-105.
- [6] 李兆龙,虞杏英.微生物絮凝剂[J].上海环境科学,1991,10(9):45-46.
- [7] 吴 健,戴桂馥.微生物细胞的絮凝与微生物絮凝剂[J].环境污染与防治,1994,16(6):27-29.
- [8] 李智良.微生物絮凝剂产生菌的筛选及相关絮凝效果试验[J].应用与环境生物学报,1997,3(1):131 第 1 期.
- [9] 庄源益,戴树桂,李 彤.生物絮凝剂对水中染料絮凝效果探讨.水处理技术,1997,23(6):345-352.
- [10] Morgan J, Forster F, Evison L. A Comparative study of biopolymers extracted from anaerobic and activated sludge [J]. Wat Res Vol. 1990, 24(6):743-750.
- [11] Levy N, Maglassi Sm, Baror Y. physiochemical aspects in flocculation of bentonite sssuspensions by a cyanobacterial bioflocculant[J]. Wat Res Vol. 1992, 26(2):249-254.

(下转 164 页)

$$P_\alpha(\gamma_\alpha \otimes x_{-\alpha}) = \Phi;$$

(iv) 对于任意 $A^\alpha \in \Sigma(D^\alpha)$, $\bigcap_{x \in A^\alpha} \Delta^\alpha[x_{-\alpha}]s_\alpha(D^\alpha) \in \mathcal{K}(X_\alpha)$;

(v) 对于任意 $\gamma_\alpha \notin K_\alpha$, 存在 $x \in D^\alpha$ 使得 $\gamma_\alpha \notin s_\alpha(D^\alpha)$ 或 $P_\alpha(\gamma_\alpha \otimes x_{-\alpha}) \neq \Phi$, 则 $\bar{\Sigma} = (X_\alpha, P_\alpha)_{\alpha \in I}$ 有 Nash 平衡.

证明 对于任意 $\alpha \in I$ 和 $x \in X$, 记 $F(x) = \Psi(x) = X_\alpha$, 容易证明 $F_\alpha, \Psi_\alpha, P_\alpha: X \rightarrow 2^{X_\alpha}$ 满足定理 4.2 全部条件, 由定理知存在 $\hat{x} \in X$, 使 $\hat{x}_\alpha \in \bar{\Psi}_\alpha(\hat{x})$ 且 $F_\alpha(\hat{x}) \cap P_\alpha(\hat{x}) = \Phi, \forall \alpha \in I$. 因而, 存在 $\hat{x} = (\hat{x}_\alpha)_{\alpha \in I} \in X$ 使得 $P_\alpha(\hat{x}) = \Phi$, 对于任意 $\alpha \in I$.

参考文献:

- [1] S. S. Chang, S. Y. Cao, X. Wu, D. C. Wang. Some Nonempty Intersections Theorems in Generalized Interval Spaces, [J]. Math. Anal. Appl. (J), 1996, 199(3): 787-803.
- [2] D. C. Wang, Nonempty Intersection Theorems Minimax theorems with Applications in Generalized Interval Spaces[J]. Int. J. Math. Math. Sci. (J), 2001, 28(2): 111-125.
- [3] J. P. Aubin and I. Ekeland. Applied Nonlinear Analysis [M]. John Wiley and Sons, 1984.
- [4] J. Kindler. Topological Intersection Theorems[J] Proc. Amer. Math. Soc., 1993, 117(4): 1003-1011.
- [5] X. P. Ding and K. K. Tan. A Minimax Inequality with Applications to existence of equilibrium point and fixed point theorems[J]. Colloq. Math., 1992, 63(2): 233-247.
- [6] M. Lassonde and C. Schenkel. KKM Principle, Fixed Points, and Nash Equilibria[J]. J. Math., Anal. Appl., 1992, 164(2): 542-548.
- [7] S. S. Chang and X. Wu. Non-compact Ben-El-Mechaiekh-Deguire-Grans minimax Theorems with Applications in Interval spaces[J]. Acta Math. Appl. Sin., 1997, 20(3): 473-477.
- [8] G. Q. Tian. Generalizations of the FKKM Theorem and the Ky Fan Minimax Inequality, with Applications to Maximal elements, Price Equilibrium and Complementarities[J]. J. math. Anal. Appl., 1992, 170(2): 457-471.

Some parametric non-compact KKM theorems with applications to economic equilibrium problem in topological spaces without linear structure

WANG Da-cheng¹, REN Yuan²

(1. Institute of Information and Calculation Science, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. School of Information Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: We establish some parametric non-compact KKM theorems for set-valued mappings in generalized interval spaces, more general topological spaces without linear structure. As applications, we utilize the results to study the minimax problem and the equilibrium problem for generalized economy.

Key words: generalized Interval space; T-interval closed set; T-convex set; GT-convex set; GT-compact set

(上接 156 页)

Screening of microbial flocculant-producing bacteria and optimal incubation conditions research

YANG Yan-mei

(School of River & Ocean, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Among the 194 bacterial strains isolated from three representative sludge samples, 14 bacteria, which could produce efficient MBF, were obtained after screening and rescreening. The MBF produced by these 14 strains had shown positive effects on treatment of pharmaceutical sewage, domestic sewage, blue ink and ink sewage (0.2%). However, most of the strains lost their abilities in producing effective MBF except the I-41 strains after over 10 times of regeneration in about half a year. I-41 is a bacillus, G+ amphibacterium, which could keep activity in producing effective MBF, after regenerations. The optimal incubation conditions for I-41 strain to produce highly efficient MBF were to cultivate it with shallow layer fermentation substrate (pH 7.0) at 37°C for 60 hrs. The substrate should be shaken manually for several times each day. Meanwhile, the model of MBF-producing bacteria is found in this trial program.

Key words: microbial flocculant; bacterial strain; optimal incubation conditions