

[1] 的试验工况下 $S_{tsP} = 0.2478$, 在本文的计算工况下 $S_{tsP} = 0.2032$, 由图 7 可以看出计算结果与试验值有较大误差, 产生误差的原因估计主要有两个: (1) 计算用的涡街发生体与试验用的涡街发生体不完全一致 (虽然两者在迎流面宽度上是相等的, 即图 1 中 W 相等), 物体的形状会对斯托拉赫数有影响; (2) 计算的网格还不够细密

参 考 文 献

1 李永光 气液两相涡街特性研究 [博士论文] 西安: 西

安交通大学, 1995 7~ 68

2 柏实义著 旋宁光, 严家祥, 夏玉顺译, 张中寅校 二相流动 北京: 国防工业出版社, 1985 124

3 陶文铨编著 数值传热学 西安: 西安交通大学出版社, 1988 277~ 278

4 Thomas L Cook, Francis H Harlow. Vortices in bubbly two-phase flow. *Int Multiphase Flow*, 1986, 12 (1): 35~ 61

(1996 年 5 月 12 日收到第 1 稿,

1996 年 12 月 5 日收到修改稿)

流变学在云芝发酵培养基优选中的应用¹⁾

周少奇

(华南理工大学轻工食品学院生物工程系, 广州 510641)

摘要 云芝真菌在反应器中于 GBP1 和 GPF1 中进行发酵培养, 结果表明 GBP1 培养基的流变特性变化较 GPF1 明显, 有利于发酵过程的进行; 摇瓶培养结果表明: GBP 类培养基中, GBP1 培养基配方较优

关键词 云芝, 培养基, 发酵, 流变特性, 优选

高等真菌如云芝、灵芝等都是名贵的中药材 近年来, 运用生物反应器对其菌丝体进行发酵培养并探求其工业化生产成了热门的研究方向

由于真菌菌丝体发酵液流变特性随发酵过程出现复杂的变化^[1-6], 由此严重影响到反应器里的传质、传热过程以致改变菌丝体的生理与生态环境, 使菌丝体的代谢与形态等均大受影响 (如真菌多糖的分泌), 也必然影响发酵过程的生长动力学及过程控制与优化 所以, 在一定的培养条件下, 流变特性成为真菌发酵过程的主要影响因素 本文就云芝真菌的两种培养基及其发酵底液之流变特性进行考察, 并结合菌丝体的增殖过程, 就培养基的优劣进行了初步探讨 目前, 还未见类似的文献报道

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

云芝 (*polystictus versicolor*), 斜面保存
经实验设计探索所得适于云芝发酵的两种典型培

养基为:

GBP1 培养基 (g/l) 葡萄糖 30, 豆粉 30, 蛋白胨 1, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 1.5, KH_2PO_4 3, 维生素微量, 自然 pH. GBP 类培养基仅豆粉含量改变, 其他均同

GPF1 培养基 (g/l) 葡萄糖 30, 蛋白胨 10, $NaCl$ 0.1, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 5, KH_2PO_4 1.5, 维生素微量, 自然 pH.

培养系统: 摇床培养和气升内环流反应器 (internal airlift loop reactor——IALR) 培养系统

1.2 培养过程

摇瓶培养: 250ml 三角瓶, 装液量 80ml, 转速 50r/min, 26℃ 恒温培养

IALR 反应器培养: 摇瓶培养物为种液, 将其接入 IALR, 26℃ 恒温, 接种量约 5%, 供气量 $2.5 \sim 5.0 \times 10^{-5} m^3 s^{-1}$, 培养周期以出现菌体自溶, 菌体含量不再增加为终点

1.3 参数测量与数据处理

流变参数用改装的 NDJ-2G 型旋转圆筒粘度计精确测量并对流变本构方程进行修正^[7], 表面张力用最大气泡压力法测得

2 培养基优选根据

真菌多糖包括水溶性、酸溶性和碱溶性数种, 分子量分布范围较大, 其中水溶性多糖易为人体吸收, 起到防治肿瘤及营养保健作用 研究表明: 云芝真菌在菌体

¹⁾广东省自然科学基金、广东省博士后基金资助课题

出现自溶(培养终了)时水溶性多糖分泌明显增加,而多糖分泌量与生物量有正比关系。因此,本文以获得高的生物量为指标,从流变学角度探讨培养基优劣

3 结果与讨论

3.1 GBP1 与 GPF1 及其发酵底液的流变特性

有关流变特性分别列于表 1、表 2,相应时刻的生物量如表 3 所示

表 1 GBP1 培养基及其发酵底液的流变特性

($T=299.2K$)

No	t/h	流变本构方程 $\tau \sim \dot{\gamma}$	相关系数 R
1	0	$\tau = 0.00228 \dot{\gamma}$	0.9993
2	12	$\tau = 0.00164 \dot{\gamma}$	0.9991
3	24	$\tau = 0.00146 \dot{\gamma}$	0.9883
4	48	$\tau = 0.00114 \dot{\gamma}$	0.9987
5	60	$\tau = 0.00101 \dot{\gamma}$	0.9989
6	72	$\tau = 0.0259 + 0.0011 \dot{\gamma}$	0.9986

由表 1、表 2 不难看出: GPF1 培养基发酵底液的流变特性变化较 GBP1 复杂得多,且增幅较大,

势必不利于反应器生态系统中的生化反应动力学和细胞生长动力学^[8],造成菌体增殖过缓。由表 3 可见,云芝菌在 GBP1 中的增殖速度比在 GPF1 中快 3 倍多,且其生物量也要多出 50%。显然,GBP1 培养基优于 GPF1 培养基。值得指出的是:以上两种培养基虽然氮源不同,但均不是菌丝生长的限制性因素,所以造成生长明显差异的原因是流变特性及其变化影响传氧、传质、传热及新陈代谢所致

表 2 GPF1 培养基及其发酵底液的流变特性

($T=299.2K$)

No	t/h	流变本构方程 $\tau \sim \dot{\gamma}$	相关系数 R
1	0	$\tau = 0.0007 \dot{\gamma}$	0.9989
2	42.5	$\tau = 0.021 + 0.00772 \dot{\gamma}$	0.9991
3	66	$\tau = 0.08 + 0.00201 \dot{\gamma}$	0.9988
4	90	$\tau = 0.061 + 0.00402 \dot{\gamma}$	0.9989
5	138	$\tau = 0.018 + 0.0026 \dot{\gamma}$	0.9992
6	186	$\tau = 0.041 + 0.00273 \dot{\gamma}$	0.9996
7	210	$\tau = 0.0215 \dot{\gamma}^{0.372}$	0.9888
8	258	$\tau = 0.0376 \dot{\gamma}^{0.632}$	0.9955

表 3 两种培养基条件下的菌丝干重比较 DW (g/l)

GBP1	t/h	0	12	24	48	60	72		
	DW/(g/l)	1.469	2.037	4.859	11.206	11.765	13.4		
GPF1	t/h	0	42.5	66	90	138	186	210	258
	DW/(g/l)	1.465	4.388	8.111	8.776	9.051	9.992	9.129	8.926

表 4 GBP 类培养基的物性与状态(*, $T=299.2K$)

物性与状态	1	2	3	4	5
豆粉含量 _s /%	1	2	3	4	5
pH*	5.75	5.79	5.81	5.83	5.87
$\rho/10^3 \text{kgm}^{-3}$	1.015	1.020	1.02044	1.025	1.012
σ^2/Nm^{-1}	67.02	62.09	60.84	59.81	58.79
状态	固粒 悬浮液	固粒 悬浮液	固粒+乳滴 悬浮液	乳滴 悬浮液	乳滴 悬浮液

3.2 GBP 类培养基的流变特性

表 4 为 GBP 类培养基在 121℃, 0.106MPa, 灭菌 30min 后的物性和状态,表 5 给出了其流变特性,表 6

则是各 GBP 培养基对云芝菌的摇瓶培养结果

培养基的综合物性与状态(表 4)通过网络结构而决定了各自的流变特性(表 5),而流变特性又对细胞

生长产生重要影响

可见: 到培养终了发酵底均变为 Bingham 液体。按理, No. 4、No. 5 氮源较前几者都多, 应该生物量也较大, 且 No. 5 之生物量最大, 然而, 由于它们的塑性粘度一开始就较大且有屈服剪应力, 使得发酵过程中传质状况恶化, 更易使菌丝老化自溶而难以达到更高的生物量; 而豆粉含量最少的 No. 1 虽然有利于传递, 但毕竟营养欠充分, 耗时最长而生物量最小。比较来看, 一开始流变特性呈牛顿型的 No. 2、No. 3 不易使菌丝生长过早老化而培养时间较长, 且能获得较高的生物量(其中 No. 3 最高)而最终流变特性较 No. 4、No. 5 都优。虽然 No. 4、No. 5 最终生物量也较高且时间较短, 但考虑到反应器培养时可以大大缩短培养时间^[2], 且在操作上控制参数后可以调整培养时间, 所以, 对培

养基优选而言, 时间是次要一点的因素, 主要以最高生物量为指标。据此可知, 5 种 GBP 培养基中, No. 3 较优。

表 5 GBP 培养基的流变特性
($T = 299.2K$)

No	$\epsilon/\%$	流变本构方程 $\tau = r$	相关系数 R
1	1	$\tau = 0.17 + 0.00138r$	0.9992
2	2	$\tau = 0.00264r$	0.9988
3	3	$\tau = 0.00228r$	0.9993
4	4	$\tau = 0.22 + 0.0016r$	0.9989
5	5	$\tau = 0.03 + 0.00256r$	0.9982

表 6 云芝在不同 GBP 培养基中的培养效果($T = 299.2K$)

No	t/h	最终生物量 $DW (g/l)$	发酵底液流变特性 $\tau = r$	R
1	146	10.892	$\tau = 0.0975 + 0.00103r$	0.9988
2	130	16.931	$\tau = 0.016 + 0.00113r$	0.9991
3	126	18.562	$\tau = 0.0156 + 0.00118r$	0.9989
4	98	17.875	$\tau = 0.133 + 0.00247r$	0.9992
5	91	15.982	$\tau = 0.142 + 0.00325r$	0.9986

4 结束语

应该指出: GBP1 培养基配方是根据云芝菌的营养要求和生长特性设计的, 经试验后优选出来的。本文通过流变学的初步研究, 认识到通过流变流体动力学行为对生化反应动力学和细胞生长动力学产生重要影响, 也证实它确实更有利于云芝菌的生长, 不仅明显优于不同类的 GPF1, 而且在与之同类的 GBP 中, 也属于较优配方。

可见, 结合细胞培养过程, 运用流变学配合对培养基进行优选是一条可行的新途径, 至少可适合于发酵液流变特性较复杂的丝状类细胞。

文 [9] 指出: “下个世纪, ..., 生物力学还将为生物反应器和分离器的设计提供科学依据, 并相应地为其提供新方法和新技术。”本文工作只是流变学应用于丝状类细胞培养基优选的一些初步研究。相信随着流变学理论的完善及有关研究工作的进一步深入, 流变力学必将在极为复杂的生物化学过程中得到更好的应用, 并对生物技术与生物工程的学科发展与工程应用

做出应有的贡献

参 考 文 献

- 1 Tang L M, Zhou S Q, Feng P S. The rheological property of GLS three-phase *Polystictus versicolor* mycelial suspensions. In: Kang Z H, et al eds. Proc of Beijing Satellite Symp. 8th Inter. Congr. of Biorheology. Beijing: Peking University Press, 1992. 381~384.
- 2 周少奇. 气升内环流生物反应器培养高等真菌菌丝体的流变力学研究: [博士论文]. 大连: 大连理工大学, 1993. 9~10.
- 3 周少奇, 唐立民, 冯朴荪. IALR 培养灵芝真菌菌丝体发酵液的流变特性研究. 见: 杨桂通, 吴望一等主编. 生物力学进展. 北京: 科学出版社, 1993. 90~92.
- 4 周少奇, 冯朴荪, 唐立民. 在气升内环流反应器中云芝悬浮培养发酵液的流变行为. 化工学报, 1994, 45(3): 371~374.

- 5 周少奇, 唐立民, 冯朴荪 云芝菌丝三相悬浮液流变特性研究 大连理工大学学报, 1994, 34 (5): 513~517
- 6 周少奇, 唐立民, 冯朴荪等 屈服胀塑性液体的发现与非时变液体统一流变模型 华南理工大学学报 1995, 24 (12): 115~ 119
- 7 周少奇 高等真菌发酵液的一种有效流变测量方法 华南理工大学学报, 1996, 24 (12): 11~ 14

- 8 周少奇, 姚汝华, 冯朴荪 关于反应器生态系统的动力学理论 中国科协第二届青年学术年会报告委员会编 工程技术研究开发与展望 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 214~ 217
- 9 郑哲敏, 周恒, 张涵信, 黄克智, 白以成 21 世纪初的力学发展趋势 力学与实践, 1996, 18 (1) (1996 年 4 月 5 日收到第 1 稿, 1997 年 1 月 15 日收到修改稿)

圆柱形容容器内液体重力波的激励模型实验研究

周英彦 徐广惠 尚世南

(鞍山钢铁学院, 鞍山 114002)

摘要 本文对埋入式气源激励圆柱形容容器内液体重力波进行了理论分析, 并做了水力模型实验研究 针对两类喷嘴布列, 实验结果给出了基本波型的激励与液体深度、喷嘴位置布列变化以及气量变化之间的关系
关键词 液体重力波, 埋入式气源, 自激振荡

引言

在盛液容器底部一些位置吹入气体, 上升气泡群的作用能激励生成重力驻波^[1]。这一现象也出现在“顶底复合吹”炼钢过程中 在我国“底吹”用惰性气体, 起搅拌作用 在脱炭期大量的 CO 在脱炭反应中生成, 上升的惰性气泡群成为 CO 扩散进入的气化中心而被大为增强, 由此钢水重力驻波被激励生成 在脱炭后期 CO 生成量减少, 这种驻波将变弱甚至消失 检测上述驻波讯号, 根据驻波的生成、减弱和消失, 在不停炉情况下就能了解炼钢的化学反应进程 在钢水装入量已知时, 驻波频率与炉膛宽度有单一的已知关系, 频率检测能随时显示炉膛宽度的侵蚀变化 可见这一研究对炼钢自动控制前景具有重大价值

本文作了理论分析并进行了水力模型实验, 在波动规律了解与频率计算方面比文献[2]有了较大改进, 为进一步开展钢水重力驻波讯号检测提供了依据

1 波动模型

1.1 埋入式气源对容器内液体重力驻波的激励

圆柱形容容器底部喷嘴布列如图 1 (a), 设液体在做波动振荡, 图 1 (b) 给出某时刻的流线图 此刻上升

气泡群被推向右侧, 它们对液体波动振荡产生两种顺向推力: 在一侧充入大量气体, 该侧液重减少, 在两侧产生加强波动的压差; 由于粘性作用, 上升气泡群对波动产生顺向推力 当波动流线反向时, 情况亦然 上述为喷嘴布列在波节线上的情形, 实际上只要喷嘴布列在波节线附近 (图 1 (c) 和图 1 (d)), 上述两种加强波动振荡的推力便能产生 以上所述是埋入气源对重力驻波的同步激励作用 液内的回流运动使液体微团不断离开和进入振荡平衡位置, 这导致波动能量衰减, 粘性损耗也是波动能量衰减的因素 当上述同步激励作用提供的动力足以补偿波动能量的衰减时, 波动便能得以维持 埋入式气源对容器重力驻波激励机构具有“自激振荡”性质 对它可以采用无动力源、无损耗的理想流体重力波模型来作近似理论分析

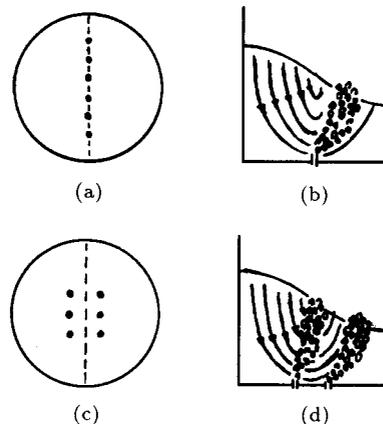


图 1 埋入式气源对容器内液体重力驻波的激励 21