第4卷 第4期 无锡轻工业学院学报 JOURNAL OF THE WUXI INSTITUTE OF LIGHT INDUSTRY Vol. 4 No. 4 1985

红霉素生产中的元素衡算

安强华 俞 杭 卢君佳 孙齐鸣 胡怀修

（南通市环保监测站） （南通生化厂）

在生产实践中，要求增加经济效益，减少环境污染，这就必须弄清物质流在生产过程中的运动规律。

红霉素的合成机理为生化发酵，反应途径极为复杂，许多细节还不太清楚，无法用简单的化学反应式加以全面描述。其反应底物和反应产物又种类繁多，难以用分子式一一表达。对它的定量分析还存在许多具体困难，因而此工作至今仍然基本未做。为此，我们引入了“元素衡算”的概念，将物质流元素化，导出了“元素衡算”的数学模型，在红霉素生产系统中运用获得成功。经污水排口用积分法连续监测验证：COD、总氮、NH_3-N 相对误差分别为5.9%、15.5%、5%。

一、红霉素生产系统“元素衡算”的分析程序

根据红霉素生产系统的工艺流程，对各工段投入——产出——流失进行定向、定性的分析，研究它的一般规律，作粗浅的描绘，在此基础上导出“元素衡算”的数学模型和矩阵模型。再将统计、供销、财务、技术、化验、情报、监测等各部门的资料数据输入数学模型，进行各元素的衡算。然后对流失物进行定量分析，并用总排口实测资料验证衡算结果的可靠性。

应用衡算结果进行工艺和环境经济效益的分析，制定整改、治理方案，再将实施的结果反馈至工艺。如图1。

二、红霉素生产中投入—产出—流失物的定向、定性分布

红霉素生产系统由发酵和提炼两部分组成。

发酵工艺投入的原材料有：①玉米淀粉；②黄豆饼粉；③花生饼粉；④葡萄糖；⑤豆油；⑥玉米浆；⑦酵母粉；⑧丙酸；⑨蛋白胨；⑩淀粉酶；⑪磷酸二氢钾；⑫硫酸铵；⑬氯化钠；⑭碳酸钙；⑮泡敌；⑯601洗剂；⑰氧等。其中①～⑫是作为碳、氮、磷源，其余是作为消泡剂和 pH 调节剂等投入的[1]。流失物中有发酵排气和发酵罐洗水。发酵排气中主要是二氧化碳，还有微量的有机酸和 NH_3-N。发酵罐洗水中含菌体蛋白、糖、脂肪，核酸、601洗剂、泡敌、红霉素单位等。

提炼工艺包括板框过滤、丁脂萃取，转化结晶、烘干、包装等五个工段。投入原料有硫酸锌、醋酸丁脂、乳酸、丙酮、氢氧化钠、盐酸、氯化钠等[1]。各工段流失物有板框洗水、滤

本文1985年7月24日收到修改稿

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

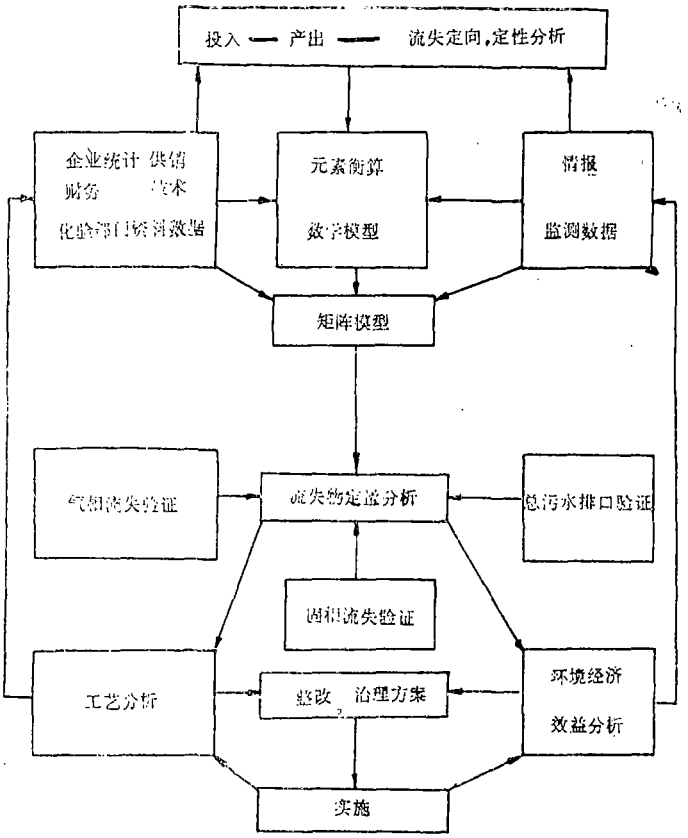


图 1　红霉素生产系统“元素衡算”程序方框图

渣、丁抽废水、丁抽分水、转化废水、丙酮废水、醋酸丁脂和丙酮废气、红霉素粉尘。废水中含菌体蛋白、糖、脂肪、乳酸、丙酮、醋酸丁脂、红霉素单位、硫酸锌、氯化钠等。

全工艺的废气进入大气，废水进入江河，滤渣入土，对环境造成污染。

三、红霉素生产系统投入—产出—流失的“元素衡算”

1.“元素衡算”的原理和方法

以一定时间内投入红霉素生产系统的原料为基础，根据定组成定律，将投料折（折纯、折元素）算成元素量[2-4][7]，依据物质不灭定律计算诸元素投入、产出、流失量。对流失物进行定量分析，将流失元素再折合成具体物质。最后利用校正系数来消除衡算中的误差(采样、分析等带来的误差)，以求得投入——产出——流失的平衡[6]。

2.“元素衡算”的数学模型

将红霉素生产系统作为衡算的基础，各工段的物质，在生产过程中，一部分作为投料进入本系统下工段，一部分作为成品或流失物进入环境。我们把环境系统，特别是进入环境污染物质作为研究的主要对象。

1) $Q_i = P_i + V_i + W_i = \sum_l Q_l \cdot C_i$

2) $P_i = P \cdot C_i$

3) $V_i = \sum_j V_{ij} = \sum_n F_n \cdot C_i$

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4) $\alpha_i = \frac{Q_i - P_i - V_i}{\sum_j W_{ij}}$

5) $W_{ij} = \sum_r H_{jr} \cdot C_i$

式中

Q_i——投料中 i 元素量

P——产品量

P_i——产品中 i 元素量

V_i——回收物中 i 元素量

W_i—— i 元素的理论流失量

C_i——对应物质中 i 元素的含量

F_n——某物料回收量

α_i—— i 元素的校正系数

W_{ij}—— j 子系统 i 元素的实测流失量

H_{jr}—— j 子系统 r 排口的排放量

3.红霉素生产系统物质流矩阵

红霉素生产系统流失物质排放形态及定向、定量分布可以由各子系统投入——产出——流失的物质流矩阵进行描述。

1)原料类 描述了投入红霉素生产系统各工段的物料以及上工段转入下工段的中间产物(水不参加衡算)。

1982 年总投料折基准物质 2284.67 吨(不包括氧，下同)。其中(1)～(2)为营养元素，富含C、N、S、P、K等营养元素[1][5]。

2)产品类 描述从发酵工段生成的红霉素,经过各工段流失，最后形成的红霉素成品量。

发酵工段生成的红霉素总量 13.91 吨，最后产出红霉素成品 9.14 吨，总收率为 65.71%。

3)流失类 描述了各工段流失物的物理、化学形态以及向量分布。(表1)

①总流失(吨) 1982 年共流失红霉素 4.77，菌体蛋白 133.63，总糖 106.23，二氧化碳 424.09，脂肪 37.74，乳酸 3.26，醋酸丁脂 137.47，丙酮 49.36，碳酸钙 13.21，601 洗剂 8.34，硫酸锌 203.29，核酸 2.11，泡敌 0.57，还有少量的无机盐类。

②产品流失(吨) 产品流失总量为 4.77，其中从板框过滤、丁抽、回收工段流失量最大，分别为 1.81、1.54、1.00，占产品流失总量的 37.91%，32.21% 和 20.96%。

③非产品流失(吨) 废气：以废气形态进入大气的二氧化碳 424.09，醋酸丁脂 68.60，丙酮 36.24。废水：年排放量1061000。废水中含有 COD 237.20，菌体蛋白 22.68，总糖 91.99，丙酮 13.11，酸酸丁酯 68.87，硫酸锌 23.24，NH_3-N 0.20，乳酸 3.91，601 洗剂 8.34，泡敌 0.57，红霉素 2.87。废渣：年排放量1424，含水率 73.50%，含菌体蛋白 110.95，硫酸锌 180.05，总糖 14.24，碳酸钙 13.21，脂肪 37.74，核酸 2.11。粉尘：红霉素粉尘年流失量 0.09。

回收：指从泡罩塔中回收的醋酸丁酯和丙酮废水中回收的丙酮。年回收量分别为

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1019.83和31.77，分别占该物质投入量的88.12%和39.16%。

表1　南通市生化厂红霉素生产系统中物质流矩阵(折基准物、单位吨)

	名称	各工段合计	名	称	各工段合计
投入	玉米淀粉	495.86	流失 废气	二氧化碳	-424.07
	葡萄糖	10.54		丙酮	-36.24
	黄豆饼粉	139.22		醋酸丁脂	-68.60
	花生饼粉	30.78	废水	红霉素	-2.87
	豆油	11.88		菌体蛋白	-22.68
	玉米浆	4.13		总糖	-91.99
	酵母粉	17.21		丙酮	-13.11
	丙酸	23.17		NH_3—N	-0.20
	蛋白胨	9.58		乳酸	-3.26
	磷酸二氢钾	0.14		601洗剂	-8.34
	淀粉酶	1.61		泡敌	-0.57
	硫酸铵	15.08		硫酸锌	-23.24
	氯化钠	3.43		醋酸丁脂	-68.87
	氧	308.41		氯化钠	-12.74
	601洗剂	8.34		NaOH	-26.74
	碳酸钙	28.36		生成水	-170.27
	泡敌	0.57	废渣	菌体蛋白	-110.95
	丙酮	81.13		红霉素	-1.81
	乳酸	3.26		碳酸钙	-13.21
	丁脂	1157.30		脂肪	-37.74
	硫酸锌	203.29		硫酸锌	-180.05
	液碱	34.01		总糖	-14.24
	盐酸	5.78		核酸	-2.11
产出	红霉素	-9.14		红霉素粉尘	-0.09
			回收	丁脂	-1019.83
				丙酮	-31.77
				不明物质	-198.33

4.红霉素生产系统特征元素矩阵

红霉素生产中投入的碳元素既是红霉素产生菌生命活动的能源，也是构成菌体蛋白、抗生素和其它代谢产物的物质基础。

红霉素产生菌以葡萄糖作为主要碳源，其次是淀粉；黄豆饼粉则作为主要氮源，其次是玉米浆和硫酸铵[5]，磷元素虽然不进入产品，但它是构成微生物机体、合成核酸、磷酯的主要元素；钾、钠、硫、钙等无机盐和微量元素是红霉素产生菌生命活动不可缺少的物质。投入的

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 南通市生化厂红霉素生产系统特征元素矩阵

单位(吨/年)

名称		各工段合计	名称			各工段合计	名称			各工段合计
投入	C	1065.86	流失	废水	C-有机碳	-107.02	流失	废渣	C	-119.81
	N	21.81			N 菌体-N	-3.63			N 菌体-N	-17.75
	P	1.77			N NH_3-N	-0.17			N 红霉素-N	-0.034
	Zn	82.08			N 红霉素-N	-0.05			P	-1.64
	S	44.29			P	-0.14			Zn	-72.93
	K	3.89			Zn	-9.15			S	-39.24
	Na	20.90			S	-5.05			K	-3.23
	Cl	3.87			K	-0.66			Cl	-0.46
	Ca	11.55			Na	-20.90			Ca	-11.35
					Cl	-3.41		废气	C CO_2	-115.64
产出	C	-5.53	失	粉尘	C-红霉素	-0.054	失		C 醋酸丁酯	-42.58
	N	-0.17			N-红霉素	-0.002			丙酮	-22.50
								回收-C		-625.73

诸元素，除碳、氮有极少量进入产品外，其余均以各种形态全部流失，造成环境污染(表2)。

碳元素(吨)：总投入 1065.86，进入成品量 5.53，流失 1060.33，占投入量的 99.48%。回收 652.73，回收率61.56%。实际流失 407.60，占投入量的 38.24%。

以废气形态流失的碳元素 180.72，以废水形态流失的碳元素 107.20，以废渣形态流失的碳元素 119.81，以粉尘形态流失的碳元素 0.05。分别占碳元素总流失量的 17.04%、10.09%、11.30%、0.005%；占碳元素实际流失量的 44.34%、26.26%、29.39%、0.01%。

氮元素(吨)：总投入量 21.80，进入成品量 0.17，流失量 21.63，占投入量的 99.22%。其中，废水中流失 3.85，废渣中流失 17.78，分别占总流失的 17.80%、82.20%。98.82% 的氮流失以菌体蛋白形态。

磷元素(吨)：总投入量 1.77。废水中流失 0.13，占总流失的 7.34%。废渣中流失 1.64，占92.66%。

锌元素(吨)：总投入量 82.07。废水中流失 9.15，占总流失的 11.15%。废渣中流失 72.92，占总流失 88.85%。

其它元素均以各种形态从废水、废渣中全部流失。

四、红霉素生产中流失物及特征元素排放系数

矩阵中的各类流失物与商品量之比则为各流失物相应的排放系数。(表 3)

例：已知商品的列向量为 $C=[C_1C_2\cdots\cdots C_n]^T$

则：红霉素商品的无量为 $[C]$

水相排放系数矩阵为 $[j_{ij}]=[L_{ij}]/[C]$

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

气相排放系数矩阵为$[g_{ij}]=[g_{ij}]/[C]$

固相排放系数矩阵为$[S_{ij}]=[S_{ij}]/[C]$

表 3　红霉素生产系统中流失物及特征元素排放系数(吨/吨成品)

流失物名称	排放系数	特征元素名称	排放系数
菌体蛋白	14.62	COD	26.10
总　糖	11.62	NH_3-N	0.02
醋酸丁酯	15.04	C	44.33
乳　酸	0.43	N	2.33
脂　肪	4.13	P	0.19
601 洗剂	0.91	K	0.43
泡敌	0.06	Na	2.29
红霉素	0.52	Cl	0.42
二氧化碳	46.39	S	4.84
硫酸锌	22.24	Zn	8.98
碳酸钙	1.45	Ca	1.24
丙　酮	5.40		

五、工艺分析

1.发酵元素转化率、有效转化率

产品中某元素的量与发酵投入原料中用作合成产品的该元素总量的百分比，称之为该元素的转化率。

成品中某元素的量与发酵投入原料中用作合成产品的该元素总量的百分比，称之为该元素的有效转化率。

$$\eta_i=\frac{A_i}{Q'_i}\times 100\% \qquad \eta'_i=\frac{B_i}{Q'_i}\times 100\%$$

式中

η_i——i 元素的发酵转化率

η'_i——i 元素的有效转化率

A_i——发酵合成产品中 i 元素量

B_i——成品中 i 元素量

Q'_i——发酵投入原料中用作合成产品的 i 元素总量。

红霉素生产中碳元素转化率为 2.92%，有效转化率为 1.50%；氮元素转化率为 1.22%，有效转化率为 0.80%。转化率和有效转化率均低。发酵投料中碳氮比为 13∶1,其中 23.64%的碳元素构成菌体蛋白，39.96%的碳元素作为能源。其余均以废气、废渣形态流失。因此，发酵法生产抗生素伴随有碳氮化合物的大量流失。但它具有疗效显著、原料便宜易得，条件不高、易于实施，目前还不能被其它方法代替。

2.溶媒气相流失率

丙酮沸点为 56℃，醋酸丁酯为 126℃，极易挥发。1982 年采用敞口生产、用泵输送，

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

因此跑、冒、滴、漏损失率高。丙酮、醋酸丁酯的气相流失率分别为44.67%和5.90%(占该物质投料量)。

六、结　　论

1)元素衡算的原理、方法和数学模式，可以广泛应用于发酵工业。

2)红霉素生产中元素转化率和有效转化率低，因此，必须加强菌种的选育工作。通过诱变育种、抗噬菌体菌株的选育、杂交育种等方法，选育抗逆性强的高产菌种，加强菌种的不断更新换代工作。同时要进行工艺最佳化、合成路线及前体的研究，提高发酵元素转化率和有效转化率，使红霉素产量大幅度地提高。

3)红霉素生产中，要努力提高企业的环境经济效益，即最大限度地提高经济效益，尽量减少“三废”对环境的危害为原则。当前首先应考虑增加发酵单位，提高效率，增加单罐产量。其次是扩大生产增加罐批产量的问题。

4)提高醋酸丁酯、丙酮的回收利用率，积极研究红霉素生产中“三废”的综合利用，以增加收益，降低成本，减少环境污染。

参　考　文　献

[1] 中国医药公司抗生素工业生产编写组，《抗生素工业生产》，1981，9

[2] 《水和废水标准检验法》，中国建筑工业出版社，1978，12

[3] [美]捷克逊著，李庆逵等译，《土壤农化分析》，科学出版社，1964，4

[4] [日]森本宏著，常赢生译，《饲料学》，农业出版社，1981，1

[5] 内蒙古农牧学院畜牧系编，《家畜饲料标准与饲料营养价值表》，1981，3

[6] Sung kyun kim, et. al. “Energy Intensity of the Japanese Economic Activities in 1975 and Analysis of Energy Flow through the Industries”, The Journal of Earth Sciences Vol. 28. Dec 1980

[7] 安强华、俞杭等，“红霉素生产中碳元素衡算剖析”，《无锡轻工业学院学报》，1984，第3卷，第2期

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

85029

THE ELEMENTARY BALANCE in the PRODUCTION of ERYTHROMYCIN 《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》, Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Erythromycin, The elementary balance.

In this paper, the mass flow in the process of erythromycin production can be elemented using the elementary balance method, and the mathematical model of quantitative analisis of mass flow is established. The method for quantitative studing of mass flow is the fermeutation factories has been tested. The system for quantitative measurment of the relationships between elements, mass flow, organic substances and COD was introduced. Both of the drainage coefficient of various losted substance and the ratio of carbon and nitrogen utilization, which will provide the sound basis for the technological reform and improvment of the economic and eviromental avaibilities, have been established.

Author: An Qinghau, Yu Hang, Lu Tunjia et al.

85027

RESEARCH of PROTECTING COLOUR and PROCESSING TECHNOLOGY In PLUP PEAR JUICE ——CHARACTERISTICS of POLYPHENOLASE in ZIMU PEAR were STUDIED. 《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》, Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Zimu Pear, Polyphenoloxidas, Acetone power.

This report describes the polyphenoloxidas made of acetone powder from ZiMu pears and extracted by buffer in return. Employing the wazbwry respirometer or spectrophometer, the pH, the temrerature, the enzyre concentrate and the substrat concentration were investigated with polyphenoloxidase activety for the optimun pH. the optimun temperature. the Vman and the Km respectivly, The thermodynamic stability of the enzyme sytems was studied. Fmally, the properties of inhibitor of SO_2, Vit C to the polyphenolas were introduced in the paper.

Author: Yang Fangqi, Fei Jian, Yang Jian et al

85030

OPTIMIZATION of SYNTHETIC DETERGENT FORMULATIONS and THEIR MATHEMATICAL MODEL《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》, Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Optimization, Liquid detergent composition, Experimental design, Regression analysis, Mathematical model, Variance analysis.

The optimum conditions of liquid detergent composition are obtained by employing experimental design and variance analysis in this paper. A mathematical model for the forecasting and condrolling of the mutual correlation between major washing efficiency (detergency performance) and their individual constituents has been established through mathematical regression analysis treatment.

Author: Zhou Zhenjiang

85028

STUDIES of KEEPING RICE FRESH 《Journal of the Wuxi Institute of Light Industry》, Vol.4, No.4, 1985

KEYWORDS Rice storage, Freshness, Activestaling, Hydrogen sulfide content.

This paper discussed the soundness of substituting the fatty acid content with H_2S content of rice as an indicator for rice freshness. According to similar experiments, that the pearly clean rice has a batter rice freshness storage property than St. I rice on the market have been proved.

Author: Zhu Binxin, Lu Jizhang

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

85027

带肉梨汁护色及加工工艺的研究(Ⅰ)—子母梨中多酚氧化酶特性的研究《无锡轻工业学院学报》1985年，第四卷，第四期

关键词 子母梨，多酚氧化酶，丙酮粉。

摘 要 本文用丙酮粉法从子母梨组织中提取多酚氧化酶，经萃取后，分别用量压法或分光光度法测定了pH、温度，酶浓度、底物浓度对多酚氧化酶酶活力的关系，分别求出最适pH值、最适温度、V_{max}和K_m；测定了该酶体系的热稳定性情况；初步研究了SO_2和$Vit\,C$对多酚氧化酶的抑制作用。

作者：杨方琪，赏健，杨健等

85028

大米保鲜的研究《无锡轻工业学院学报》1985年，第四卷，第四期

关键词 大米贮藏，新鲜度，强制陈化，硫化氢含量。

摘 要 本研究以实验论证了用大米硫化氢含量代替脂肪酸含量作为大米新鲜度指标的合理性。通过对比试验证实珠光精洁米比市售标一粳具有较好的保鲜性能。

作者：朱斌昕 吕季璋

85029

红霉素生产中的元素衡算《无锡轻工业学院学报》1985年，第四卷，第四期

关键词 红霉素 元素衡算

摘 要 本文通过红霉素生产中“元素衡算”，将物质流元素化，建立了物质流定量分析的数学模型，解决了物质流在发酵工业环境中定量化研究的方法；找出了元素、物质流、有机物、COD等相互之间的定量化系列体系；导出了各种流失物质的排放系数和碳、氮源利用率，为工艺改革，提高红霉素生产的经济效益和环境效益提供了依据。

作者：安强华 俞杭 卢君佳等

85030

合成洗涤剂配方最佳化及其数学模型《无锡轻工业学院学报》1985年，第四卷，第四期

关键词 最佳化，液体洗涤剂组成，试验设计，回归分析，数学模型，方差分析

摘 要 本文运用试验设计法和方差分析得到液体洗涤剂配方最佳化的条件，并由此通过数学回归分析处理，建立能应用于预测和控制液体洗涤剂主要洗涤效果(去污力)与其各组分之间相互关系的数学模型。

作者：周镇江

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net