

发酵工业清洁生产模糊综合评价模型框架^{*}

吕欣^{1,2}, 张晓妮³, 毛忠贵², 张晓娟⁴

(1 南京农业大学 食品科技学院, 江苏 南京 210095;

2 江南大学 教育部工业生物技术重点实验室, 江苏 无锡 214036;

3 西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100; 4 解放军总后勤部 军需装备研究所, 北京 100010)

[摘要] 分析了发酵工业的现状及其存在问题, 重点对酒精、味精和柠檬酸3种传统发酵产品的生产工艺进行了分析, 提出其共性, 并有针对性地提出了发酵工业进行清洁生产的一般性策略。在此基础上, 建立了对清洁生产进行评价的三级模糊综合评价模型框架。

[关键词] 清洁生产; 发酵工业; 模糊综合评判

[中图分类号] TQ 920.6; X383

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)07-0139-04

目前, 诸如全球变暖、大气污染、酸雨等一系列全球性环境问题对人类社会与经济影响的负面影响日益严重, 引起了各国政府、科学家和企业家的普遍关注。在这种背景下, 传统的以大量消耗资源、粗放经营为特征的发展模式受到质疑, 可持续发展思想逐渐为世界各国所接受和倡导^[1,2]。对微观工业企业而言, 贯彻可持续发展思想应将工业污染控制战略贯穿于整个生产和消费过程中, 而不是单纯的末端处理, 应强调生产、消费的全过程统筹。为了实现上述目标, 清洁生产应运而生, 清洁生产的核心是实现自然资源和能源利用的最合理化、经济效益最大化以及对人类和环境的危害最小化^[3~11]。

发酵工业中, 最典型的是酒精、味精和柠檬酸产业, 其在我国发酵工业中的产量和规模最大, 同时污染也最严重^[12]。目前, 我国绝大部分生产企业, 均采用末端处理的方法防治污染, 而末端处理投资大, 运行成本高, 且不产生任何效益, 因而生产企业积极性不高。如何防治污染, 提高生产效率, 降低生产成本, 增加效益, 是每个生产企业面临的严峻问题, 清洁生产为这一问题的解决提供了一条有效途径。然而, 实施清洁生产的生产企业较少, 即使已经实施清洁生产的企业, 也仅停留在清洁生产审计阶段^[13,14], 而未与技术改造和管理提升结合起来。此外, 目前对发酵行业清洁生产缺乏统一的评价标准。作者通过分析发酵工业的共有特性, 建立了评价清洁生产的三级模糊综合评判模型框架, 以期科学、合理地评价

清洁生产提供一个有效的工具。

1 发酵工业现状与清洁生产策略

发酵工业中, 酒精、柠檬酸和味精是目前我国发酵行业的主要产品, 生产厂家分布全国各地, 由于所处地域不同, 每种产品所用原料不同。本研究以酒精、柠檬酸和味精生产普遍采用的原料——玉米进行分析。从共性上来说, 3种产品的传统生产工艺可以简单地表述为: 原料→原料预处理→发酵→提取精制。在原料预处理阶段, 3种产品的生产工艺基本一致, 都是将玉米淀粉转化为微生物可以利用的碳水化合物(单糖), 一般主要包括如下过程: 原料→原料拣选→脱胚→粉碎→拌料→液化→糖化。

在发酵阶段, 由于所用微生物不同, 发酵方式也有所变化。而在提取精制阶段, 3种产品存在较大差异。在生产过程中, 3种产品均排放大量高浓度有机废液, 对环境造成严重污染。从酒精、柠檬酸和味精的传统生产过程可以看出, 发酵工业在生产过程上存在极大的相似性, 因此可以采用相同的策略和思想来实现清洁生产。本研究并不是将所有的产品都套用同样的方法和手段, 而是将清洁生产思想和策略运用于生产过程的改造中。

发酵工业所采用的原材料一般均是无毒无害的, 其食品级的特点使原料进入主生产过程前可以提高原料利用率。例如以玉米为原料, 发酵过程实际需要的是原料中的淀粉成分, 因此在进入发酵过程

^{*} [收稿日期] 2004-10-13

[基金项目] 科技部科技型中小企业技术创新基金无偿资助项目(01C26213200325)

[作者简介] 吕欣(1975-), 男, 上海市人, 讲师, 博士, 主要从事发酵工程研究。

前,可先将玉米胚芽和胚乳分开,胚芽含油和蛋白,可进一步深加工为高附加值产品(玉米油和玉米醇溶蛋白等),胚乳经粉碎后,也可以先经过蛋白提取和色素提取,只留下淀粉进入液化糖化工段。这样,既实现了精料发酵,又增加了产品品种,提高了企业的经济效益。因此,首先要对原料进行全面分析,并对所有成分的可加工性进行技术经济分析,对可能的加工手段进行比较,力争使原料的每一部分都转化为适当形式的产品。这就要求在加工前进行综合考虑,而不能只考虑单一目标产品所需要的“原料”。对工程技术的选择,要注意选择低耗、高效工艺,并综合考虑生产过程的能量耦合,充分利用能源。

举一反三,将上述原理推而广之,也就是仅供给所需要的原料,不多余供给,该种模式可称为“零库存”原料利用模式。对于在生产过程中添加的其他“原料”,贯穿就地利用、循环使用的策略,从而进一步减少物质利用强度,如果不能以“原料”本身的形式进行回用,要对“原料”进行适当的转化,以合适的形式变成产品。例如,以生产用水封闭循环为主要特征,贯穿上述清洁生产策略思想的味精和酒精清洁生产新工艺,已由江南大学研制成功^[15,16]。

由于我国大部分玉米产地都分布在北方,对生产企业而言,将玉米深加工企业设在离产地较近的区域,无疑在经济上是有利的。但北方水资源有限,而发酵工业耗水量大,所以对生产企业而言,降低用水量一方面可以减少环境污染、降低环境成本;另一方面可以降低生产成本,增强企业竞争力。

2 发酵工业清洁生产评价模型框架

2.1 评价模型框架的特点和指标确定原则

清洁生产评价模型的特点为: (1) 可全面描述企业清洁生产实际的整体状况和水平,通过评价,可以促进企业积极并持续地实施清洁生产。(2) 计算和处理应简单易行,便于操作。(3) 根据行业或企业的技术改造进程和工艺技术装备水平的提高程度,以及生产实际水平,在一定时期内能够调整。(4) 所得结果在行业内企业间应具有可比性,使企业清楚了解自身的水平和问题,促进企业加大清洁生产实施力度。

清洁生产评价指标应该是在一定的科学、技术和经济条件下,能全面反映企业生产技术和水平集合。指标体系设定是否正确和全面,关系到评价的科学性和可操作性。从清洁生产的战略思想和内涵看,指标体系应体现节约原材料、节约能源、减

少废弃物数量、提高员工效率等内容,并且清洁生产评价模型指标应以目前行业实际先进指标或者国际先进指标作为评价依据^[17~19]。

2.2 三级模糊综合评价模型框架

在分析发酵工业一般生产过程的基础上,建立清洁生产三级模糊综合评价模型。发酵工业的一般生产系统中含有多个子系统,可分为原料预处理子系统、液化糖化子系统、发酵子系统、提取精制子系统、污染处理子系统和辅助子系统,其中每个子系统又分成若干个单元过程系统。原料预处理子系统包括原料拣选单元、原料粉碎单元、原料输送单元和原料预处理控制单元等;液化糖化子系统包括拌料单元、液化单元、糖化单元和液化糖化控制单元;发酵子系统包括发酵单元和发酵控制单元;提取精制子系统包括提取过程单元(产品不同,所需要的提取精制过程存在差异)和提取过程控制单元;污染处理子系统包括处理过程单元(不同的治污方式,过程也不同)和处理过程控制单元;辅助子系统包括生产维修单元、生产保障单元以及管理单元等。这些单元过程系统有各自的评价指标(包括水、电、煤、汽、污染物、人员等),各子系统、各指标之间相互联系、相互影响。对于这样的复杂系统,由于指标间差异较大,因而采用模糊综合评判的方法最为适宜^[20~24]。

设评语集为: $Y = \{\text{优秀, 良好, 中等, 较差, 差}\}$ 。评语集对应的等级模糊子集分别为 A, B, C, D, E 。

模糊隶属函数的构建: 设 x 为某项指标的指标值,由 5 个等级模糊子集的实际意义可以分别构造隶属函数 $f_A(x), f_B(x), f_C(x), f_D(x), f_E(x)$ 。

设 a 为该指标值的下限(现有生产水平下的最小值), b 为该指标值的上限(现有生产水平下的最大值)。采用 a 和 b 表征每个指标的最佳值和最差值,而未给定其具体的数值,是因为清洁生产本质上是一个持续的改进过程,其标准将随技术进步而不断进行调整,而不是一成不变的,这样也赋予了该模型框架更大的灵活性和适应性。

(1) $f_A(x)$

考虑降半 Cauchy 分布,

$$f_A(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{1}{1 + \alpha(x - a)^2} & x > a \end{cases}$$

(2) $f_B(x)$

考虑 Cauchy 分布,

$$f_B(x) = \frac{1}{1 + \alpha(x - \frac{3a+b}{4})^2} \quad a \leq x \leq b$$

(3) $f_C(x)$

考虑 Cauchy 分布,

$$f_C(x) = \frac{1}{1 + \alpha_3(x - \frac{a+b}{2})^2} \quad a \leq x \leq b$$

(4) $f_D(x)$

考虑 Cauchy 分布,

$$f_D(x) = \frac{1}{1 + \alpha_4(x - \frac{a+3b}{4})^2} \quad a \leq x \leq b$$

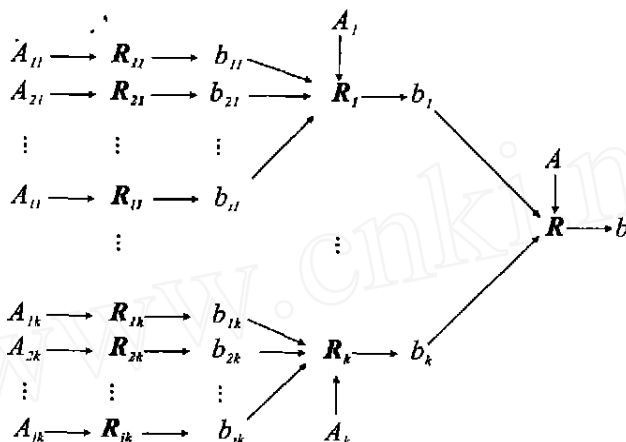
(5) $f_E(x)$

考虑升半 Cauchy 分布,

$$f_E(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 0.85b \\ \frac{1}{1 + \alpha_5(x - 0.85b)^2} & 0.85b < x < 0.9b \\ \frac{x}{b} & 0.9b \leq x \leq b \end{cases}$$

模糊隶属函数中的参数 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 可通过临界点的连续性, 以求极限的方法来确定。

通过模糊隶属函数计算得到各指标对评语集等级模糊子集 (A, B, C, D, E) 的隶属度, 构成模糊关系矩阵。



其中, A 表示模糊权向量, R 表示模糊关系矩阵, b 表示评价结果向量。

一级评价:

$$A_{11} \circ R_{11} = b_{11}$$

$$A_{21} \circ R_{21} = b_{21}$$

⋮

$$A_{1n} \circ R_{1n} = b_{1n}$$

$$R_1 = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{1n} \end{bmatrix}, \text{ 这里 } b_{1i} \text{ 表示对各单元过程系统的评价结果;}$$

果;

二级评价:

$$A_1 \circ R_1 = b_1$$

$$A_2 \circ R_2 = b_2$$

⋮

$$A_k \circ R_k = b_k$$

$$R = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix}, \text{ 这里 } b_k \text{ 表示对各子系统的评价结果;}$$

三级评价:

$$A \circ R = b$$

式中, b 为对某个发酵工业生产系统的评价结果。

对于该清洁生产评价模型框架, 需要说明以下几点:

1) 模糊权向量 (A) 的确定方法: 模糊权向量的确定一般采用专家估计法, 即请专家分别估计出各层次指标对上一级的隶属度, 然后对不同专家的估计结果归一化并求平均值。

2) 模糊合成算子的选择: 采用 $(\cdot, +)$ 算子, 因为该算子在体现权重作用、综合程度、利用 R 的信息等各方面均优于其他算子。

3) 模糊综合评价结果向量的分析方法采用最大隶属度原则。

3 小 结

清洁生产是发酵工业实现可持续发展的必然途径, 通过对典型发酵产品——酒精、柠檬酸和味精生产工艺的分析, 提出了发酵工业清洁生产的一般性策略, 并在相关的试验研究中证明了该策略可用于

味精和酒精的清洁化生产^[15,16]。建立的清洁生产评价模型框架可广泛用于评价发酵工业生产系统,可以区分清洁生产的层次,实现行业内企业的比较,为发酵工业提供了一个有效的清洁生产评价工具。

[参考文献]

- [1] 东西方文化发展中心: 文明的可持续发展之道[M]. 北京: 人民出版社, 1999
- [2] 张坤民: 可持续发展论[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [3] 席德立: 清洁生产[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1995
- [4] UNEP. 第四次清洁生产高级研讨会总结报告[J]. 产业与环境, 1997, 19(3): 7- 22
- [5] 张天柱: 推动我国清洁生产的对策措施[J]. 中国清洁生产, 1998, (1): 25- 29
- [6] 刘用泉: 清洁生产是 21 世纪工业发展的模式[J]. 福建环境, 1999, 16(3): 2- 4
- [7] 沈玉梅: 清洁生产发展应用前景[J]. 环境科学进展, 1998, 6(2): 73- 79
- [8] 管忠良, 刁春生: 清洁生产的概念及实施途径[J]. 环境保护科学, 1996, 2(4): 24- 26
- [9] 涂瑞和: 在中国推广清洁生产: 综述与展望[J]. 产业与环境, 1999, 21(4): 30- 36
- [10] 尹盛华, 党晓尧: 清洁生产——环境与经济协调发展的最佳途径与选择[J]. 酿酒, 2000, (3): 89- 90
- [11] 张天柱: 我国推动清洁生产的政策机制[J]. 上海环境科学, 1999, 18(10): 431- 432
- [12] 北京水环境技术与设备研究中心: 三废处理工程技术手册(废水卷)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000
- [13] 杨文娟, 李 何, 何有光, 等: 味精生产企业清洁生产审计[J]. 辽宁城乡环境科技, 2001, 21(5): 49- 50
- [14] 王俊河: 发酵工业企业的清洁生产审计[J]. 新疆环境保护, 2001, 23(2): 30- 33
- [15] L ü Xin, L I Yong-fei, DUAN Zuo-ying, et al: A novel repeated fed-batch ethanol production system by fully recycling of fermented supernatants with extremely long term stability[J]. Biotechnology Letters, 2003, 25(21): 1819- 1826
- [16] 陈建新, 张建华, 毛忠贵: 清洁生产中的闭路循环技术[J]. 无锡轻工业大学学报, 1999, 18(4): 27- 32
- [17] 魏宗华: 工业企业清洁生产评估指标的研究[J]. 环境保护, 2000, (5): 22- 24
- [18] 陈永星: 清洁生产的指标体系及组织实施[J]. 福建化工, 2001, (1): 45- 46, 3
- [19] 范 可, 上官铁梁, 吴东丽: 太原市清洁生产评价指标体系研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2001, 24(4): 370- 374
- [20] 汪培庄, 韩立岩: 应用模糊数学[M]. 北京: 北京经济学院出版社, 1989
- [21] 张 跃, 邹寿平, 宿 芬: 模糊数学方法及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992
- [22] 刘普寅, 吴孟达: 模糊理论及其应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1998
- [23] 郑建青: 化学工业清洁生产的模糊综合评判[J]. 技术经济与管理研究, 2001, (5): 70
- [24] 曹 刚: 矿山清洁生产模糊数学评价方法探讨[J]. 矿山环保, 2001, (2): 10- 13

Frame model for evaluation of cleaner production in fermentation industry by fuzzy comprehensive evaluation

LU Xin^{1,2}, ZHANG Xiao-ni³, MAO Zhong-gui², ZHANG Xiao-juan⁴

¹ College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China;

² The Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Southern Yangtze University, Wuxi, Jiangsu 214036, China;

³ College of Economy and Management, North West A & F University, Yangling, Shanxi 712100, China;

⁴ The Quaternary Equipment of the GLD of PLA, Beijing 100010, China)

Abstract: Current status of fermentation industry and the existing problems were analyzed, especially the production techniques of alcohol, sodium glutamate and citric acid. Based on the analysis of traditional processes of ethanol, citric acid and glutamate sodium, general strategy for cleaner production of fermentation industry was put forward, then a Fuzzy Comprehensive Evaluation frame model was established.

Key words: cleaner production; fermentation industry; fuzzy comprehensive evaluation