

减压处理下泡菜发酵动力学初探

王世宽,冉 燃,侯 华,许艳丽,潘 明
(四川理工学院生物工程学院,四川自贡 643000)

摘 要:利用 DPS 软件,通过 Logistic 方程、Luedeking-Piret 方程和 Luedeking-Piret-like 方程对减压处理下泡菜的发酵过程进行了动力学分析,研究了其发酵过程中菌体生长、产物生成和基质消耗等特性,得到了描述泡菜分批发酵过程的动力学模型和模型参数。模型计算值与实验值的拟合度分别为 0.9924、0.9688 和 0.8971,该模型基本反映了减压处理下泡菜分批发酵过程的动力学特征。

关键词:动力学模型,减压,泡菜,发酵

Primary study on kinetics model of pickle under decompression

WANG Shi-kuan, RAN Ran, HOU Hua, XU Yan-li, PAN Ming

(Department of Biotechnology Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: The kinetics of fermentation of pickle under decompression were analyzed by DPS software. A simple model was proposed with the Logistic equation for growth, the Luedeking-Piret equation for production and the Luedeking-Piret-like equation for substrate consumption, respectively. The fit values of the three models were 0.9924, 0.9688 and 0.8971, respectively. The model appeared to provide a reasonable description for the fermentation of pickle under decompression.

Key words: kinetics model; decompression; pickle; fermentation

中图分类号: TS255.54

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2009)07-0134-03

泡菜是一种常见的乳酸菌发酵制品,在我国具有悠久的历史,其主要是利用乳酸菌发酵产生乳酸,辅以低盐及多种调味料来保存蔬菜并增进其风味,是我国民间大众化的蔬菜加工食品^[1,2]。发酵动力学是研究发酵过程中状态变量随发酵时间和控制变量之间的规律。建立分批发酵动力学模型可有助于系统有效地控制发酵过程,发现最优的发酵条件,为反应器的优化和控制服务。一个好的模型应具备两个特征:一是能够定量地描述发酵过程的变化;二是主要影响因子的作用能够在模型中表现出来^[3]。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

甘蓝 市售,新鲜无腐烂;盐、花椒、干辣椒、八角、冰糖、白酒 均为市售;NaOH, 3,5-二硝基水杨酸,丙三醇,葡萄糖,EDTA·Na₂, 钙黄绿素, CaCO₃ 等。

自制泡菜发酵容器(70L),旋片式真空泵,分析天平,紫外可见分光光度计,可调式移液器等。

1.2 泡菜制作工艺

甘蓝→清洗→沥干→切分→装入泡菜发酵容器→抽真空→发酵
↑
盐水(7%)、大料(1%)、冰糖(1%)、白酒(1%)

1.3 检测方法^[4~6]

菌体浓度:浊度法;还原糖:3,5-二硝基水杨酸法;乳酸:EDTA 定钙法。

1.4 实验方法

按上述泡菜制作工艺,将原辅料装入自制泡菜发酵容器中(填充系数 0.7),抽真空 0.02MPa,控制温度 20℃,开始发酵,每隔 12h,取适量泡菜发酵汁,对样品中的菌体浓度、还原糖含量及乳酸含量进行检测。

2 结果与分析

2.1 减压处理下泡菜分批发酵动力学曲线

从图 1 可以看出,减压处理下泡菜的发酵周期为 96h;0~24h 时,泡菜中菌体生长慢,还原糖消耗少,乳酸积累缓慢;24~60h,泡菜发酵过程中菌体进入对数生长期,菌体浓度快速增大,还原糖消耗加快,乳酸得到快速积累;60h 后,菌体浓度增长缓慢,趋于稳定,还原糖消耗主要用于乳酸的生成积累。

2.2 泡菜分批发酵动力学模型的建立

2.2.1 菌体生长动力学模型 由于菌体最大浓度受到限制性因素影响,趋于最大值。生长速率的变化符合 Logistic 方程曲线。Logistic 模型是一个典型的 S 型曲线,能较好地反应分批发酵过程中菌体浓度的增加对自身生长存在的抑制作用,能较好地拟合分

收稿日期:2008-11-17

作者简介:王世宽(1964-),男,教授,硕士,主要从事农产品储藏与加工方面的研究。

基金项目:四川省教育厅川菜发展研究中心科研项目(CC05Z05)。

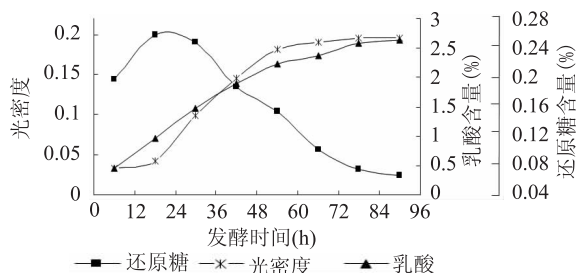


图1 减压处理下泡菜分批发酵动力学曲线

批发酵过程中菌体生长规律^[7]。

Logistic 方程的微分形式^[8]为:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{k}\right) \quad \text{式(1)}$$

其积分形式^[8]为:

$$\ln \left| \frac{k-N}{N} \right| = a - rt \text{ 或 } N = \frac{k}{1 + e^{a-rt}} \quad \text{式(2)}$$

式中: t : 时间, h ; N : 时刻 t 体系中菌体密度; r : 菌体增长率, h^{-1} ; k : 体系中最大菌体密度。

将图1中的数据利用 DPS^[9] 软件对上述方程式(2)用麦夸特法进行单因素变量模型参数估计, 得到参数为: $k = 0.21$, $a = 0.1$, $r = 0.01 h^{-1}$ 。将各参数值代入生长动力学模型方程, 即得菌体生长动力学方程:

$$N = \frac{0.1988}{1 + e^{3.1894 - 0.0879t}} \quad \text{式(3)}$$

将菌体生长的实验值与模型的计算值做比较, 结果如图2所示。

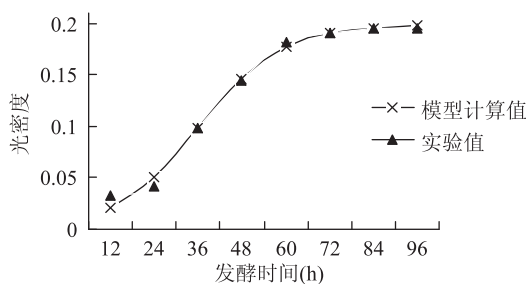


图2 菌体生长的实验值与模型计算值的比较

由图2可知, 该菌体生长模型能很好地描述发酵过程中的菌体生长情况, 预测生产中菌体生长情况, 其拟合度为 0.9924。

2.2.2 产物生成动力学模型 这个动力学模型是基于 Luedeking - Prier 方程, 该模型最早应用于 *Lactobacillus delbrueckii* 发酵生产乳酸。根据这个模型, 产物生成速率 (vp) 与菌体浓度相关, 与生长速率 dx/dt 有线性关系^[10]。

$$vp = \frac{dp}{dt} = \alpha \frac{dx}{dt} + \beta x \quad \text{式(4)}$$

式中: α 为生长耦联的产物形成系数; β 为非生长耦联的产物形成系数。将 P 表示为与时间相关的方程, 把方程式(4)重新转化, 可以得到:

$$dp = \alpha dx + \beta \int x(t) dt \quad \text{式(5)}$$

简化方程, 用如下的方程来表示产物形成:

$$P = \alpha A(t) + \beta B(t) \quad \text{式(6)}$$

$$\text{式(6)中, } A(t) = x_0 \left(\frac{x_0 e^{\mu_m t}}{1 - \frac{x_0}{x_m} (1 - e^{\mu_m t})} - 1 \right)$$

$$B(t) = \frac{x_m}{\mu_m} \ln \left[1 - \frac{x_0}{x_m} (1 - e^{\mu_m t}) \right] \quad \text{式(7)}$$

式中: μ_m : 比生长速率, $1/h$; x_m : 最大细胞浓度, g/L ; x_0 : 初始发酵时的细胞浓度, g/L 。

根据式(1)、式(3), 可换算出 x_0 为 $0.0078 g/L$, x_m 为 $0.21 g/L$, μ_m 为 $0.068 h^{-1}$ 。利用 DPS 软件对方程式(6)进行单因素变量模型参数估计, 并将各参数值代入产物合成动力学模型方程, 即得:

$$P = 0.3029 \left[\frac{0.0078 e^{0.068t}}{1 - 0.037 (1 - e^{0.068t})} - 1 \right] + 2.625 \ln [1 - 0.037 (1 - e^{0.068t})] \quad \text{式(8)}$$

将产物生成实验值与模型计算值做比较, 结果见图3所示。

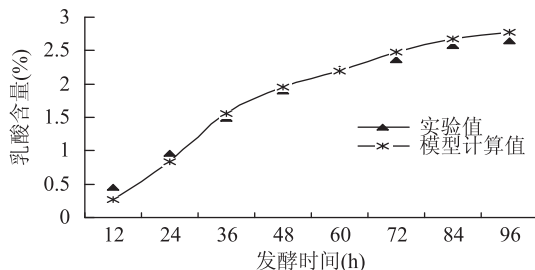


图3 产物生成的实验值与模型计算值的比较

由图3可以看出, 该产物生成模型能较好地描述泡菜发酵过程中乳酸生成的情况, 该模型的拟合度为 0.9688。

2.3 基质消耗动力学模型

发酵过程中, 基质的消耗主要用于菌体生长、产物合成及其代谢, 底物消耗速率方程与 Luedeking - Piret-like 方程类似, 因此, 选用此方程来描述基质的消耗情况。

$$-\frac{ds}{dt} = \gamma \frac{dx}{dt} + \delta x \quad \text{式(9)}$$

方程式(9)经过整合、转换后可得:

$$S = S_0 - \gamma C(t) - \delta D(t) \quad \text{式(10)}$$

$$\text{其中, } C(t) = x_0 \left(\frac{x_0 e^{\mu_m t}}{1 - \frac{x_0}{x_m} (1 - e^{\mu_m t})} - 1 \right)$$

$$D(t) = \frac{x_m}{\mu_m} \ln \left[1 - \frac{x_0}{x_m} (1 - e^{\mu_m t}) \right] \quad \text{式(11)}$$

利用 DPS 软件对方程式(10)用麦夸特法进行单因素变量模型参数估计, 得到参数, 并将其代入基质消耗动力学模型方程得:

$$S = S_0 - 0.240 \left[\frac{0.0078 e^{0.068t}}{1 - 0.037 (1 - e^{0.068t})} - 1 \right] - 8.164 \ln [1 - 0.037 (1 - e^{0.068t})] \quad \text{式(12)}$$

将基质消耗实验值与模型计算值进行比较, 结果见图4。

由图4可以看出, 该基质消耗模型拟合良好, 可描述发酵过程中还原糖的消耗情况, 拟合度为 0.8971。

3 结论

本文对减压处理下泡菜的发酵过程进行了初步的动力学研究, 建立的菌体生长模型及产物生成模

(下转第 139 页)

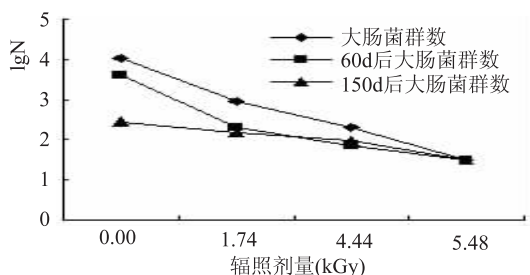


图6 麻花椒粉大肠菌群数变化曲线

大肠菌群 D_{10} 值为 1.44~1.59kGy, 为辐射敏感菌, 是两种香辛料辐照剂量设定的指示菌。推荐剂量分别为 14.00 ± 0.50 kGy 和 7.00 ± 0.50 kGy。

3.3 辐照对香辛料色、香、味影响不显著, 辐照样品贮藏 60d 和 150d 后微生物数量显著减少, 后继效应明显, 说明辐照杀菌技术是香辛料等热敏性物料的理想杀菌方式。

参考文献

- [1] 姚远, 任大明, 等. 利用 ^{60}Co - γ 辐射杀菌技术生产无防腐剂调味品[J]. 中国调味品, 2004(5): 14~16.
- [2] 张春燕, 蔡静平, 等. 低水分辣椒粉带菌状况及控制技术的研究[J]. 食品科学, 2007(28): 131~134.
- [3] Baxter R. Amiorobiological investigation of selected spices, herbs and additives in Africa [J]. J Food Sci, 1982: 47~57.
- [4] Laidie R, Handzel S, Severs B, Butler R. Salmonella outbreak associated with contaminated pepper [J]. Epidemiol Bull DePt

Natl Health Welfare Orrawa, 1974, 18(4): 62.

- [5] 张奇志, 王文亮, 等. γ 射线辐照技术对中药灭菌的应用研究进展[J]. 中国现代药物应用, 2007, 1(1): 62~63.
- [6] Fan X, Niemira B A, Sokorai K J B. Sensorial, nutritional and microbiological quality of fresh cilantro leaves as influenced by ionizing radiation and storage [J]. Food Research International, 2003, 36: 713~719.
- [7] 王传耀. γ 射线对大肠杆菌 (*Escherichia coli*) 的辐射效应[J]. 核农学报, 1992, 6(4): 248~251.
- [8] ICGFIAO/IAEA/WHO. Code of good irradiation practice for the control of pathogens and other microflora in spices, herbs and other vegetable seasoning. ICGFI Document 1991(5): Vienna.
- [9] 刘福岭, 戴行钧. 食品物理与化学分析方法[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1987. 14.
- [10] 傅俊杰. 调味品辐照灭菌技术的研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2000, 26(6): 593~596.
- [11] Hyun-Pa Song, Dong-Ho Kim, Cheorun Jo, et al. Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of fresh vegetable juice [J]. Food Microbiology, 2006, 23: 372~378.
- [12] 施培新. 食品辐照加工原理与技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004. 38~39.
- [13] 林音, 李香玲. 辐照对调味品和脱水蔬菜中大肠菌群杀灭效果的研究[J]. 核农学报, 2001, 15(6): 331~333.
- [14] 邱晓先. 大肠菌群辐照微生物学效应及其在调味品中检验技术的研究[D]. 中国农业科学院, 2002.

(上接第 135 页)

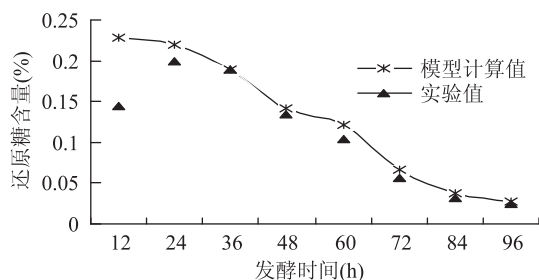


图4 基质消耗模型计算值与实验值的比较

型的拟合度分别达到了 0.9924 和 0.9688, 表明方程可以较好地描述减压处理下泡菜发酵过程中菌体生长及乳酸生成的情况。而基质消耗情况相对要差一些, 因为泡菜发酵过程中, 底物还原糖首先由原料中渗出, 再被体系中的菌体利用。由于渗出与利用速度的不同, 还原糖含量要经过先升高再降低的过程, 这与 Luedeking-Piret-like 方程模型所表述的情况有一定的差异。总之, 发酵是一个非常复杂的过程, 通常完全描述特定的实际发酵过程是非常困难的。建立发酵动力学模型, 并在多种操作下进行过程仿真则有助于理解这个过程。

参考文献

- [1] 李幼筠. 中国泡菜的研究[J]. 中国调味品, 2006(1): 57~63.
- [2] 吴锦涛, 余水林, 李筱瑜. 延长泡菜和酸菜保质期的研究[J]. 食品与发酵工业, 1999(3): 39~42.
- [3] 宫衡, 伦世仪. 赖氨酸分批发酵动力学研究[J]. 生物工程学报, 1996, 12(S1): 219~225.
- [4] 赵玲, 王静云, 包明, 等. 丁二酮高产菌株的选育及发酵动力学分析[J]. 生物技术, 2007, (17) 5: 59~64.
- [5] 丛峰松. 生物化学实验[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2005. 80~211.
- [6] 金其荣. 有机酸发酵工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1989. 403~404.
- [7] 熊小平, 文湘华, 徐康宁, 等. 白腐真菌批式发酵动力学模型研究[J]. 环境科学, 2008, 29(2): 494~499.
- [8] 周赛花. 逻辑斯蒂方程中参数的估计[J]. 数理统计与管理, 1992, 11(5): 32~36.
- [9] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统—实验设计, 统计分析 & 模型优化[M]. 北京: 科学出版社, 2006. 704~715.
- [10] 詹喜, 姜峰, 殷贻, 等. 生防菌枯草芽孢杆菌 BS-Z 的分批发酵动力学初探[J]. 食品科学, 2007(5): 223~227.