

文章编号:1673-1689(2009)01-0140-03

基于 BP 神经网络的羊肚菌液体发酵量化方法

王莹¹, 孙永海², 朴美子¹, 金声琅³, 李静¹

(1. 青岛农业大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109; 2. 吉林大学生物与农业工程学院, 吉林 长春 130025; 3. 黄山学院 旅游学院, 安徽 黄山 245041)

摘要: 根据羊肚菌液体种子在三角瓶内生长呈球体的特点, 可推知液体种子在三角瓶底部的图像映射面积对应于液体种子的质量, 利用图像处理和人工神经网络可以实时并准确得到不同时刻的液体种子质量, 从而绘制出羊肚菌液体种子的生长曲线, 进一步确定恰当的接种时机。本文建立了羊肚菌液体发酵确定接种菌龄的量化方法, 经验证, 此方法避免了人为误差, 结果比较准确。

关键词: 羊肚菌; BP 神经网络; 图像处理; 液体发酵; 生长曲线; 接种菌龄

中图分类号: S 567. 39

文献标识码: A

Quantified Method for Morchella Submerged Fermentation Based on BP Neural Network

WANG Ying¹, SUN Yong-hai², PIAO Mei-zi¹, JIN Sheng-lang³, LI Jing¹

(1. School of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109; 2. College of Biology and Agriculture Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China; 3. School of Tourism, Huangshan College, Huangshan 245041, China)

Abstract: The growth curve of liquid seeds were drawn by the way of computer image treatment and ANN after studying the shape characteristic of Morchella. The quantified method of judging inoculating age of Morchella were established, which has avoided human error and the result was satisfactory.

Key words: Morchella, BP neural network, image treatment, submerged fermentation, growth curve, inoculating age

羊肚菌(Morchella)是一种珍贵的野生食药两用真菌,具有丰富的食、药用价值。由于羊肚菌子实体栽培受到各种因素的影响,目前尚未实现工业化生产,作者通过液体深层发酵方法培养羊肚菌菌丝体,可以解决羊肚菌资源匮乏的现状,液体深层发酵技术以其易操作、增殖快、周期短、产量大等优点,成为目前广泛研究的热点。

羊肚菌液体深层发酵通常采用斜面菌种——三角瓶液体种子培养——发酵罐逐级扩大培养的方式。接种菌龄是指液体种子移接到发酵罐的培养时间,接种菌龄是整个发酵过程中的重要参数,太年轻或过老的种子对发酵不利,恰当确定接种菌龄对发酵产量有很大影响,大量经验证明接种对数生长期的液体种子为最佳。以往在液体发酵过程

收稿日期:2008-01-05

作者简介:王莹(1980-),女,黑龙江牡丹江人,工学硕士,助教,主要从事发酵工程及功能性食品研究。

Email:wylac@163.com

中接种菌龄都是根据操作人员的经验确定的,难免存在人为误差。作者通过摄取液体种子发酵过程的三角瓶底部图像,计算出羊肚菌菌丝体的映射面积,并利用神经网络预测出菌丝体质量,从而绘制出液体种子生长曲线,确定对数生长期,给出确定接种菌龄的量化方法。

1 材料与方 法

1.1 菌种

粗柄羊肚菌 5.382,购于中科院微生物所。

1.2 培养基

质量浓度/(g/dL):麦麸 4,玉米粉 2,黄豆粉 1, MgSO₄ 0.1, KH₂PO₄ 0.1。

1.3 主要设备

75S 型数码相机:SONY 公司产品;HZQ-C 空气浴振荡器:哈尔滨市东明医疗仪器厂产品;ZK-82 型真空干燥箱:上海市实验仪器总厂产品。

1.4 培养条件

温度 28 ℃,振荡频率 100 r/min,250 mL 的三角瓶装料 50 mL。

1.5 菌丝体质量测定

将发酵液用 4 层纱布过滤,充分洗涤干净,置于 ZK-82 型真空干燥箱,在 0.05 MPa 的真空度下,50 ℃ 干燥至恒重,计算菌丝体质量。

2 基于 BP 网络的菌丝体质量预测

2.1 BP 神经网络简介

人工神经网络(ANN)是一种模拟人的神经系统而建立的非线性动力学系统,它具有自学习、自组织和自适应等特性,近些年在图像处理,自动控制,模式识别,预测等领域得到了广泛的应用。BP 网络(Backpropagation NN)是一种单向传播的多层前向网络,由输入层、隐含层和输出层组成,图 1 是 BP 网络的 3 层网络模型结构。

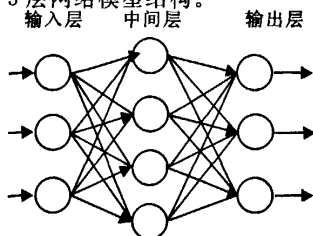


图 1 BP 神经网络结构

Fig. 1 Structure of BP artificial neural network

2.2 菌丝体质量预测

经过多次试验发现摇床频率为 100 r/min 时,培养一段时间后羊肚菌菌丝体在三角瓶内几乎呈正球体(36 h 后),根据这样的特点,可推测菌丝体在三角瓶底部的映射面积和其质量存在一定的关系,可以利用训练好的 BP 网络通过三角瓶底部的菌丝球映射面积预测菌丝体质量。菌丝球与摄像装置示意图见图 2 和图 3。

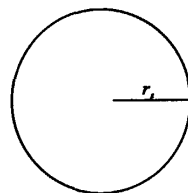


图 2 菌丝球示意图

Fig. 2 Schematic illustration of Mycelium

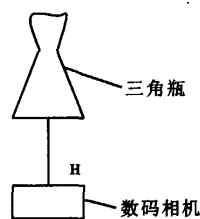


图 3 摄像装置示意图

Fig. 3 Schematic illustration of photograph device

摄取 20 组三角瓶底部不同生长时期的菌丝球图像,为了保证准确性,试验在菌丝成球体后进行(发酵 36 h 后),并将图像利用 Matlab 程序进行处理,得到映射面积值,同时测定对应的菌丝体质量。

采用 3 层神经网络结构,输入层、输出层各一个神经元,分别代表菌丝球映射面积和菌丝体质量,隐层包含 3 个神经元,采用 LogSig 函数作为传递函数,输出层采用 Purelin 函数作为传递函数。利用 20 组试验数据训练所建立的 BP 网络,同时通过 5 组试验数据(非训练样本)验证网络的合理性。通过 MATLAB 神经网络工具箱实现,训练步数 50,网络性能的目标误差为 1e-7。

3 结果与讨论

3.1 ANN 模型预测结果分析

网络训练以均方差 MSE 作为目标误差,MATLAB 软件训练网络的误差变化曲线见图 4。

从图 4 可知,羊肚菌菌丝体质量神经网络模型用实测的 20 组数据进行训练,步长约 20 步后输出层的均方差即达到了 10⁻⁵。

3.2 模型验证

在相同的试验条件下,培养5组三角瓶液体种子,分别测定映射面积与菌丝体质量数据,将映射面积输入所建立的神经网络模型预测菌丝体质量,通过实测值与模型预测值对比来分析所建立网络模型的准确性,用相对误差 d 衡量(见式1),试验结果见表1。

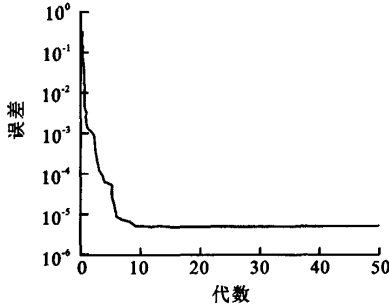


图4 误差变化曲线

Fig. 4 Curve of model error

$$d = \frac{(y_i - \hat{y})}{y_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中: d 为相对误差,%; y_i 为实测值,g; \hat{y} 为预测值,g;

表1 羊肚菌菌丝体质量预测值与实测值对比

Tab. 1 Contrast of the predicted values with the experimental values of Morchella weight

试验号	y_i	\hat{y}	$d/\%$
1	0.143 7	0.149 6	-4.11
2	0.245 4	0.243 2	0.9
3	0.312 3	0.320 5	-2.64
4	0.352 8	0.345 5	2.07
5	0.391 5	0.380 1	2.92

从表1可知:该优化BP神经网络预测性能较

好,最大相对误差为在5%之内,能够满足试验要求,可以用该网络模型进行羊肚菌液体种子生长曲线的绘制。

3.3 液体种子生长曲线绘制

按上述试验条件,培养一个三角瓶液体种子,从36 h开始,每12 h摄取液体种子三角瓶底部的图像,利用MATLAB进行图像处理,得到映射面积值,并利用已训练好的ANN预测对应的菌丝体质量,绘制出液体种子生长曲线,见图5。

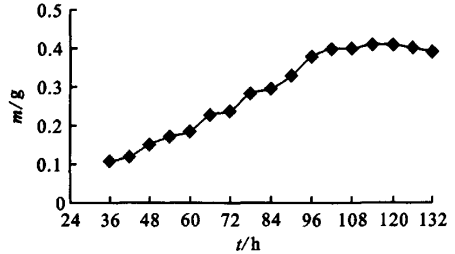


图5 羊肚菌液体种子生长曲线

Fig. 5 Growth curve of Morchella liquid seed

从以上生长曲线看,羊肚菌在94~100 h达到加速生长后期,应该选择在此刻将液体种子接入到发酵罐,即确定接种菌龄为94~100 h,此时液体种子既有较多的生长点,又处于迅速生长阶段,有利于发酵罐进一步发酵的进行。

4 结 语

基于BP神经网络,通过三角瓶底部的图像建立了菌丝体质量预测模型,可以预测液体种子质量,从而绘制生长曲线,确定最佳接种菌龄。该方法取代了人为确定接种时机的传统方法,避免了人为误差,同时BP神经网络编程简单,分析速度快,能够实时测定。经验证,该模型相对误差在5%以内,比较准确。

参考文献(References):

- [1] 陈向东,朱戎,兰进. 羊肚菌研究进展[J]. 食用菌学报,2002,9(2):56-61.
CHEN Xiang-Dong, ZHU Rong, LAN Jin. The progress of research on Morchella[J]. *Acta Edulis Fungi*, 2002, 9(2):56-61. (in Chinese)
- [2] 翟强. 羊肚菌研究进展[J]. 安徽农业科学,2006,34(24):6528-6529.
ZHAI Qiang. The progress of research on Morchella[J]. *Journal of Anhui Ggricultural Sciences*, 2006, 34(24):6528-6529. (in Chinese)
- [3] 欧超,王娣,张兆轩,等. 羊肚菌液体深层发酵条件[J]. 食品与生物技术学报,2007,26(2):80-86.
OU Chao, WANG Di, ZHANG Zhao-Xuan, et al. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2007, 26(2):80-86. (in Chinese)
- [4] 储炬,李友荣. 现代工业发酵调控学[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [5] 孙兆林. MATLAB 6. x 图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [6] 飞思科技产品研发中心. MATLAB6.5 辅助优化计算与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2003.

(责任编辑:朱 明)