

基于人工免疫网络理论的移动机器人路径规划

过金超, 刘征, 崔光照

(郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:针对静态环境下机器人路径规划问题,提出了基于人工免疫网络理论的移动机器人路径规划方法.该方法基于人工免疫网络仲裁机器人的行为,将抗体和抗原类比为机器人的行为和机器人所在的环境,人工免疫网络作为主要的行为仲裁机制,有效地选择和精炼执行任务,并基于 Webots 实验平台对该方法进行了仿真.实验结果表明,该方法在复杂的环境中具有高度的自制性、适应性、灵活性和有效性.

关键词:人工免疫网络;移动机器人路径规划;Webots

中图分类号:TP29 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.001

Mobile-robot path planning based on artificial immune network

GUO Jin-chao, LIU Zheng, CUI Guang-zhao

(College of Electr. and Infor. Eng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The mobile-robot path planning problem in static environment was studied. A approach based on artificial immune network to solve problems was presented and tested in Webots simulator. The method using dynamics of artificial immune network determined the main action of robot. In the experiment, antibody and antigen were simulated as the behavior of robot and environment. The task used an artificial immune network (AIN) to act as an independent behavior arbitration mechanism and hence provided effective and efficient task completion. Simulation experiments with the task phase demonstrated that it was effective for robot navigation in complex scenarios. A Webots simulator was used throughout the experiment. Results showed that high degree of autonomy, adaptability and flexibility could be achieved using this combined method.

Key words: artificial immune network; mobile-robot path planning; Webots

0 引言

经过了几十年的发展,智能机器人领域研究者的兴趣和工业生产的需要集中在了移动机器人上.移动机器人是能在一定条件和没有人类干预的情

况下,长时间工作的机器人.移动机器人能够在不适合人类工作的地点(如大气层外空间或水下等)工作,在执行这些任务时,一个最基本的要求是移动机器人能够自主规划路径. M. Knudson 等^[1]提出使用 Q 学习算法在未知动态环境指导机器人路径

收稿日期:2011-12-08

基金项目:河南省自然科学基金项目(092300410036)

作者简介:过金超(1978—),男,河南省开封市人,郑州轻工业学院副教授,博士,主要研究方向为机器人智能控制及优化.

规划. N. Singha 等^[2]使用独特型人工免疫网络方法来解决机器人路径规划问题. A. Whitbrook^[3]将编码行为作为一套不同的属性,在编码中使用遗传算法,使多套不同的行为获得自然快速的发展,并提供更大范围的灵活的行为选择. 文献[3]利用免疫系统学习和适应属性设计出了自主的传感响应系统,应用于机器人路径规划. N. K. Jerne 的独特型人工免疫网络理论^[4]被用作一种行为仲裁模型,将行为作为抗体,环境作为抗原,使用他们之间的相互作用来主导行为选择. 本文拟对静态环境下机器人路径规划问题进行研究,并提出基于人工免疫网络理论的移动机器人路径规划方法.

1 前期准备

1.1 问题描述

在一个小围墙里,一个装配了激光和声纳的机器人要通过一个小门(见图 1). 这个围墙 1 m 长, 1 m 宽,0.5 m 高,门宽 0.22 m. 问题是机器人要能在围墙内自由规划路径,在固定的时间内,它要发现并尽可能多地通过门. 然而,这个问题是困难的,因为对于机器人来讲这个世界是未知的,没有先验知识告诉它门的位置,它只能用传感器进行探测.

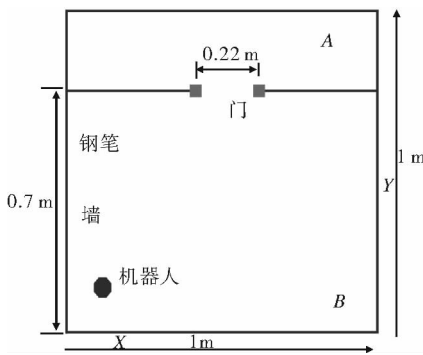


图 1 机器人所处环境

在研究中,虚拟的机器人被随机地定位在 B 区域. 通过一个独立程序来搜索目标和离线优化网络结构,更新抗体决定簇映射表. 在每次循环中,机器人有 1 000 s 来发现和通过门. 如果没有发现和通过门,被视为一个失败的循环,将接受减少 800 s 的处罚. 当机器人碰撞到障碍(主要是墙和门框)时,将接受减少 500 s 的处罚.

总的适应性方程是

$$L_f = \frac{1}{L_t + L_c} \quad \text{①}$$

其中, L_f 是绝对值, L_t 是完成任务的时间, L_c 是机器人的碰撞时间.

1.2 仿真平台

Webots 是一款商业的机器人仿真软件,提供了一个快速的原型创建接口,允许用户实现三维虚拟机器人的快速创建^[5]. 在本文中,根据图 1 的设计要求,基于 Webots 设计出了相应的仿真环境,如图 2 所示,包括围墙、机器人及门.

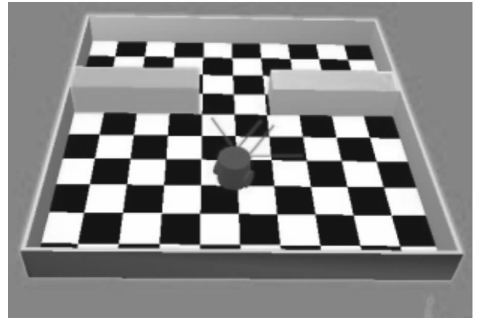


图 2 机器人的仿真环境

2 基于人工免疫网络算法的机器人路径规划的设计

本文采用 N. K. Jerne 的独特型人工免疫网络理论来实现机器人的自主路径规划. 在该系统中,抗体代表环境的激励与抗体之间相互激励并形成网络. 免疫系统变化的动态性和学习性在网络不断变迁状态下,可以确保行为选择是灵活的,可自主调节适应环境变化. 该理论指出,抗体拥有一套独特位而且能够被其他抗体识别. 当抗体独特位被其他抗体决定簇识别时,这个抗体就被抑制而且它的浓度减少. 然而,当一个抗体的抗体决定簇识别了别的抗体的独特位或者抗原决定基,则被激励而且浓度增加. N. K. Jerne 的独特型网络理论视免疫系统为一个复杂的抗体决定簇网络,这个网络能够识别独特位(如图 3 所示). 这就意味着抗体之间可以通过动态网络相互作用^[6]. 这个网络是自动调节和持续自我适应的,可以维持稳定的状态.

2.1 算法设计

在算法的设计过程中,环境情况被模拟成抗原决定基,抗原的回应被模拟成抗体. 在抗体和抗原的独特型网络达到平衡的时候,需要选择最大浓度

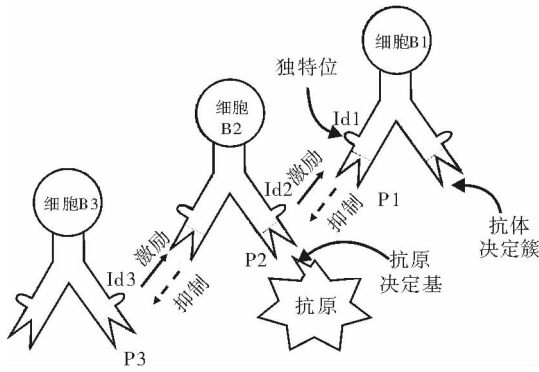


图3 免疫网络的一般结构

的抗体来移除入侵的抗原。

J. D. Farmer^[7]指出, N. K. Jerne 的假说能够被模拟成微分方程, 进而模拟抗体浓度的变化对于刺激和抑制的作用及自然的死亡率. 模型假设一个系统中有 N 个抗体 $[x_1, x_2, \dots, x_N]$ 和 L 个抗原 $[y_1, y_2, \dots, y_L]$, 这个微分方程控制抗体 x_i 浓度 \dot{C} 的变化率为

$$\dot{C}(x_i) = b \left[\sum_{j=1}^L U_{ij} C(x_i) C(x_j) - k_1 \sum_{m=1}^N V_{im} C(x_i) C(x_m) + \sum_{p=1}^N W_{ip} C(x_i) C(y_p) \right] - k_2 C(x_i) \quad (2)$$

等式右边的方括号项代表抗体 x_i 对于所有抗原刺激的响应, $\sum_{j=1}^L U_{ij} C(x_i) C(x_j)$ 代表抗体对于所有别的抗体的激励, $k_1 \sum_{m=1}^N V_{im} C(x_i) C(x_m)$ 模拟了抗体对于所有其他抗体的抑制, $\sum_{p=1}^N W_{ip} C(x_i) C(y_p)$ 代表抗体对于所有其他抗原的刺激。

变量 k_1 允许抗体之间的刺激和抑制不相等, 如果 $k_1 = 1$, 这些力量就是相等的. k_2 是阻尼因子, 意味着抗体死亡的趋势在缺少相互作用的时间, 使用的是常量. 变量 b 是数率常数. 方程②基于这样一个原则, 抗体的浓度水平依赖抗原与抗体之间和抗体之间的亲和力. 这个浓度水平可以动态地计算, 并被用来决定对于目前环境的适应值. 在独特型免疫网络系统的框架下, 机器人的行为由动态环境变化所引起的抗体浓度值决定. 下面以特定场景为例, 对该算法的可行性进行研究。

在研究中, 机器人的行为对于环境情况的响应被类比成为抗体对外部抗原的识别过程. 为了解决短时期的目标搜索问题, 可首先手工设计抗体决定

簇和独特位映射. 用 9 个抗原表现环境情况, 12 个抗体表现遇到麻烦时机器人将会产生的行为. 在路径规划过程中, 几个抗原可能同时出现, 但是只有一个抗原是主要的, 所以 9 个抗原被赋予了不同的优先级(见表 1). 这个方法的基本原理是, 通过免疫网络的行为, 使抗体之间出现一个集体的相互作用, 其中最适应入侵抗原的抗体决定簇是主要的。

表 1 抗原类比

抗原	优先级
平均读数大于阈值	0
目标知道	1
目标不知道	2
物体在左边	3
物体在中间	4
物体在右边	5
平均读数小于阈值	6
机器人停止	7
障碍物在后边	8

12 个抗体分别是: 向后退, 停之后慢慢右转 25°, 停之后慢慢左转 25°, 向前进, 向前走时右转 25°, 向前走时左转 25°, 到达目标, 探测目标, 停之后慢慢右转 45°, 停之后慢慢左转 45°, 向前走时右转 45°, 向前走时左转 45°. 对于出现的抗原, 抗体决定簇映射指导机器人选择相匹配的抗体, 而且可以提供抗体与抗原之间的激励作用. 独特位映射则在抗体之间提供刺激和抑制作用。

基于人工免疫网络理论, 笔者设计了机器人行为仲裁机制, 首先需测试计算门宽度算法(见图 4). 图 4 中, 机器人把识别并通过大门作为最终任务来执行. 因此, 门的正确识别就显得尤为重要, 在对门的识别过程中, 主要是依据门的宽度 d 进行的. 由于 d 为已知量, 因此, 在一定的信度空间内, 接近 d 值的区域将视为门的方向, d 值的计算公式为

$$d = \sqrt{(x^2 + y^2) - (2xy \cos \theta)} \quad (3)$$

这里, x 和 y 为发生较大突变的相邻激光束的值, θ 是它们之间的夹角. d 值被作为门宽度的估计值, 同时机器人与门之间的距离

$$h = \sqrt{\left(x^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2\right) - \left(2x\left(\frac{d}{2}\right)\cos\varphi\right)} \quad (4)$$

这里, φ 是 x 与 d 之间的夹角, h 实际上为 d 边对应的中线. 由余弦定理可知

$$\cos\varphi = \frac{x^2 + d^2 - y^2}{2xd} \quad (5)$$

所以,式④可简化为

$$h = \sqrt{\frac{x^2}{2} - \frac{d^2}{4} + \frac{y^2}{2}} \quad (6)$$

仿真实验中, h 值被用来作为机器人与门之间的相对距离. 为了保证机器人能一直保持朝向门的方向移动, 定义机器人的偏离角

$$\mu = (\gamma - 180^\circ) \times 0.5 - \omega \quad (7)$$

这里, ω 是左边激光束 x 与线 h 的夹角, γ 是激光中左边数组最大的变化值. 由余弦定理可知

$$\cos\omega = \frac{x^2 + h^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}{2xh} \quad (8)$$

根据上面所述, 值 d 和 h 用来作为机器人对目标门的识别及是否通过的计算依据.

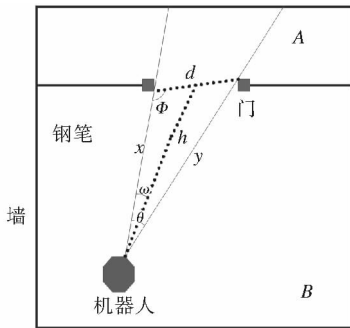


图 4 计算门宽度算法示意图

2.2 强化学习

通过使用强化学习技术, 初始的抗体决定簇相配数组可以获得动态的发展, 因此强化学习多被使用在抗体奖励方面. 例如, 机器人选择一个抗原, 测量相配抗体参数 2 次, 然后比较这 2 个参数, 如果第 1 个大, 抗体被奖励, 否则被处罚. 当机器人成功识别了门, 相应的行为 (抗体) 可直接被奖励, 而所有其他的抗体被处罚. 为了改善强化学习的效果, 必须考虑时间比例因子对强化学习的影响, 如果定义太小, 机器人没有足够的时间来响应; 如果定义过大, 则会出现过响应, 从而导致系统不稳定^[8]. 强化学习使机器人的行为选择趋于合理, 从而增强机器人对特定环境的适应能力.

3 实验仿真与分析

基于 Webots 商业机器人开发软件, 对基于人工免疫网络理论的机器人路径规划过程进行仿真, 结

果见图 5—图 7. 行为仲裁参数设置如下: 机器人与障碍物的最小距离 $d_{\text{mro}} = 0.15 \text{ m}$, 传感器的平均读数 $\text{avtol} = 0.25 \text{ m}$. 为了增加机器人对门的识别率, d_{mro} 需要作动态的调整, 在搜索过程中, d_{mro} 保持不变, 但当门被识别并被接近时, d_{mro} 逐渐减小至 0.02 m .

图 5 表示机器人开始执行任务. 首先, 机器人被放置于下半平面, 处于搜索状态, 在该状态下, 机器人的主要任务就是实现对目标的搜索和自身路径的规划. 在这个时期, 机器人自由行走以便尽快探测

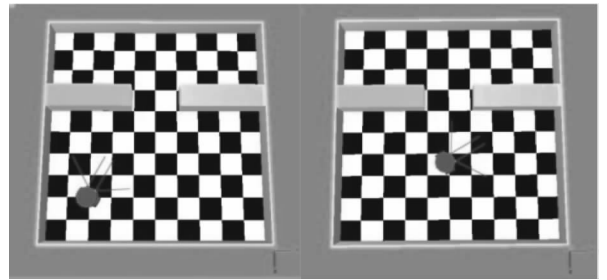


图 5 机器人开始任务在随机的位置和机器人在探索状态

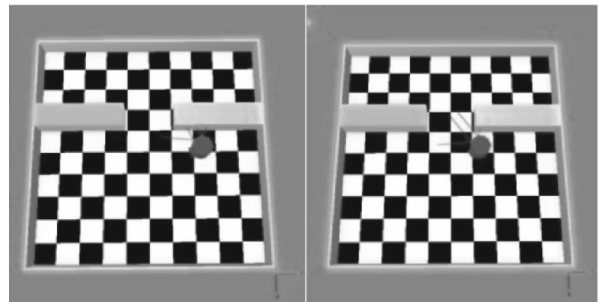


图 6 机器人识别门并朝门移动

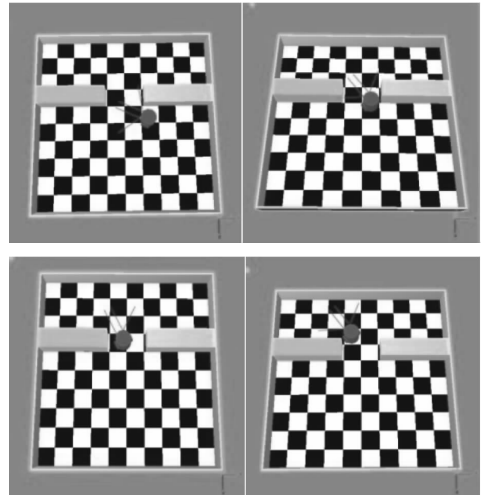


图 7 机器人通过门

到目标,通过自身携带的传感器实现目标的判别和锁定,进而探测到门,并向门移动,机器人识别到门并准备通过见图6,最终成功地通过门见图7.在路径规划过程中,人工免疫网络作为机器人行为的仲裁机制,可促使机器人选择更合适的行为以适应当前的情况.相对于其他方法,本文提出的模型在机器人路径规划中可以减少计算成本和存储,因而更加适用.

为了评估人工免疫网络方法的效果,在仿真过程中,另外采用随机算法对机器人进行路径规划,每种算法各执行10次.用本文方法的机器人完成路径规划任务平均耗时17 min,没有碰撞门或者墙.使用随机算法的机器人完成路径规划任务平均用时25 min,并且撞上门或墙7次.由此可见,人工免疫网络机器人在节省了时间的同时还减少了碰撞次数,表明了该方法的有效性.

4 结论

本文将独特型人工免疫网络应用于移动机器人路径规划,并采用Webots仿真软件模拟了机器人完成路径规划任务的过程.仿真结果表明,在免疫系统框架下的实验结果优于随机系统.对于机器人路径规划中的行为选择,独特型人工免疫网络选择过程更加适合,实验进一步的说明了系统是可行的.人工免疫网络框架提供分散的控制以调解行为选择,如果控制参数选择合适,该系统有很强的适应性和鲁棒性,模型和算法也是可靠和高效的.

参考文献:

- [1] Knudson M, Tumer K. Adaptive navigation for autonomous robots [J]. *Robotics and Auto Syst*, 2011, 59(6):410.
- [2] Singha N, Chatterjee A, Chatterjee A, et al. A two-layered subgoal based mobile robot navigation algorithm with vision system and IR sensor [J]. *Measurement*, 2011, 44(4):620.
- [3] Whitbrook A, Aickelin U, Garibaldi J M. Genetic algorithm seeding of idiotypic networks for mobile-robot navigation [C]//Proc of the 5th Int Conf on Infor in Control 2008 Auto and Robotics (ICINCO 2008), Madeira:Portugal, 2008;5-13.
- [4] Jerne N K. Towards a network theory of the immune system [J]. *Ann Immunol (Inst Pasteur)*, 1974, 25C:373.
- [5] Hohl L, Tellez R, Michel O, et al. Simulation wireless remote control and controller transfer [J]. *Robotics and Auto Syst*, 2006, 54(6):472.
- [6] Suzuki J, Yamamoto Y. Building an artificial immune network for decentralized policy negotiation in a communication end system: Open webserver/iNexus study [C]//Proc 4th World Conf SCI, Orlando, FL, 2000.
- [7] Farmer J D, Packard N H, Perelson A S. The immune system, adaptation, and machine learning [J]. *Physica D*, 1986, 2(1/3):187.
- [8] Mataric M J. Reinforcement learning in the multi-robot domain [J]. *Auto Robots*, 1997(4):73.

基于 DSP 的管道漏点快速定位系统的设计与实现

闫艳霞, 郑晓婉, 姜利英

(郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:针对我国地下自来水管道的漏水检测中传统的听音法可靠性差等问题,利用相关检测原理,以高速、低功耗的 DSP 芯片作为控制和处理核心,并辅以数据采集、键盘和显示电路,设计了地下管道漏点快速定位系统.测试结果表明,该方法具有精度高、成本低、功耗低和操作方便等优点.

关键词:管道快速定位漏点;相关检测法;DSP;压电式声波传感器

中图分类号:TN248.4 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.002

Design and implementation of rapid positioning system of underground pipeline leak point based on DSP

YAN Yan-xia, ZHENG Xiao-wan, JIANG Li-ying

(College of Electr. and Infor. Eng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: At present, China's underground water pipe leak detection methods adopt the traditional passive detection method and listening method. These methods have some limitations such as low reliability. A rapid positioning system of underground pipeline leak point was designed. The system used correlation detection principle, and took advantage of high-speed, low power DSP chips as a control and processing core. Furthermore data collection, keyboard and display circuit were designed. The test results showed that the system had high accuracy, low cost and power consumption. The detector was easy to operate.

Key words: pipeline leak point rapid positioning system; correlation detection method; DSP; piezoelectric acoustic sensor

0 引言

地下管道的渗漏,特别是管道暗漏已经严重影响了城市水资源的利用率.据统计,管道的滴流漏水量约为 3.6 L/h,线流漏水量约为 17 L/h,较大线流漏水量为 670 L/h.在我国城市给水系统中,每年有数十亿吨自来水白白流失,造成水资源的严重浪

费,可见地下管道漏点检测非常重要^[1].

目前我国普遍采用的管道泄漏检测方法是音听法,然而埋在地下较深的管道,特别是比较小的泄漏,产生的泄漏噪声是很小的,人耳很难分辨,所以这种方法很不可靠^[2].鉴于此,本文拟使用相关时延漏点检测技术与原理^[3-4],并以 DSP 为核心数据处理器,设计一种地下管道漏点快速定位系统.

收稿日期:2012-02-15

基金项目:国家自然科学基金项目(61002007)

作者简介:闫艳霞(1980—),女,河南省郑州市人,郑州轻工业学院讲师,硕士,主要研究方向为电子测量.

1 相关检测原理

管道漏点定位相关检测原理见图1. 漏点处声信号 $S(t)$ 到 A, B 两点的信号分别为 $x_1(t) = a_1 S(t - t_1)$ 和 $x_2(t) = a_2 S(t - t_2)$, t_1, t_2 为声波自漏点传播到点 A 和 B 所需要的时间, a_1, a_2 为衰减因子.

设 A 和 B 间距离为 D , A 和 B 到漏点的距离为 L_A 和 L_B , 漏水声速度为 V , 到达 A, B 两点的时间为 $t_1 = \frac{L_A}{V}$ 和 $t_2 = \frac{L_B}{V}$, 两者的时间差为 $\Delta t = |t_1 - t_2| =$

$$\left| \frac{L_A - L_B}{V} \right|, \text{ 则有 } L_B = \frac{D - V\Delta t}{2}.$$

Δt 可由 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 的互相关函数确定, $R_{x_1x_2}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T a_1 S(t - t_1) a_2 S(t - t_2 + \tau) dt$, $R_{x_1x_2}(\tau)$ 在 $\tau = |t_1 - t_2| = \Delta t$ 处有极大值. 因此, 由互相关函数 $R_{x_1x_2}(\tau)$ 可求出 Δt 值, 从而可确定漏点位置. 若漏点在 A, B 两测试点外, 则相对时延满足 $|\Delta t| = D/v$.

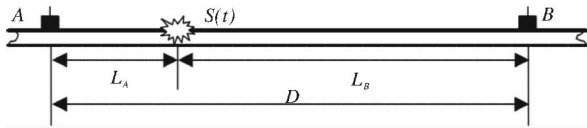


图1 管道漏点定位相关检测原理

检测时, 在 A, B 点分别放置 2 个压电传感器, 把微弱漏水声信号转换成电信号. 通过电缆送到与传感器阻抗相匹配的前端放大, 通过带通滤波器进行预处理, 以减少噪音的干扰. 该信号再经过电压放大, 经数据采集并进行采样和量化, 然后对数据进行处理, 得出 Δt , 从而确定漏点的具体位置.

2 系统硬件设计

该系统硬件组成见图2. 系统以 DSP 芯片 TMS320VC5402 为核心^[5], 辅以数据采集、键盘和显示电路. 通过压电式声波传感器将漏水处产生的声波转换为 2 路电信号, 经过放大后直接由 24 位 A/D 转换器转换为数字信号, 送入 DSP 处理器; 信号在 DSP 内部经滤波、相关处理得到 2 路信号的时延估计, 最后根据声音在管道传输的速度和传感器间距离, 计算出管道上漏点的具体位置. 利用键盘对系统进行控制并输入需要的参数, LCD 显示提示信息以及最终的运算结果和相关波形插入.

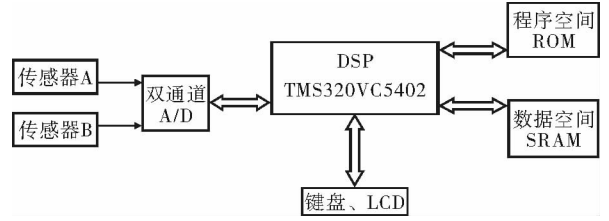


图2 系统硬件组成

2.1 传感器的选择

本系统选用的传感器为 DYP—ME400K 声波传感器, 声音信号经压电式传感器转换为电信号后, 直接在传感器部分放大 20 倍以提高传感器的灵敏度.

2.2 A/D 与 DSP 的接口连接

使用 24 位的 A/D 转换器 CS5360 插入传感器输出信号进行量化, 因 CS5360 为差动模拟输入, 因此送入 A/D 前需对其进行单一双极性转换, 转换电路见图3.

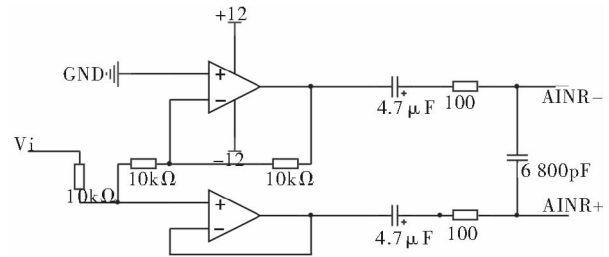


图3 单一双极性转换电路

CS5360 的输出可直接与 DSP 的 McBSP 相连, 但因 CS5360 为 5 V 电平, 所以需要增加缓冲器 74LVC16245 来实现电平转换, A/D 转换模块见图4.

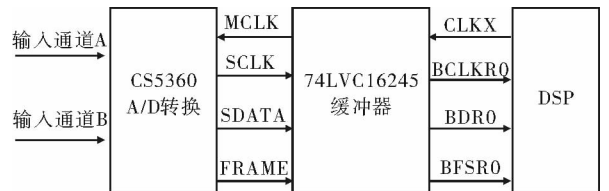


图4 A/D 转换模块

2.3 程序存储空间和数据存储空间

系统选用的程序存储 FLASH 是 ADM 公司的 Am29LV160D, 选用的数据存储 RAM 是 Cypress 公司的 CY7C1021.

2.4 键盘电路的设计

本系统中键盘主要键码信息有 0—9 数字键、

“↑”、“↓”、“退出”、“输入”、“退格”和“重测”。为了键盘(慢速)与DSP(快速)能够速度匹配,选择微控制器 AT89C2051 接收按键信息,编码后通过异步串口将码值送给 DSP。

2.5 液晶显示模块及接口电路

系统选择 EDM240128 液晶模块,DSP 将数据通过锁存器 74LV373 送给液晶模块,由于液晶模块的电平是 5 V 的,而 DSP 是 3.3 V 接口,因此在数据传输时需要经过电平转换,设计时在接口上增加锁存器 SN74LVC373。

3 软件设计与处理算法

系统软件流程和数据处理软件流程见图 5。

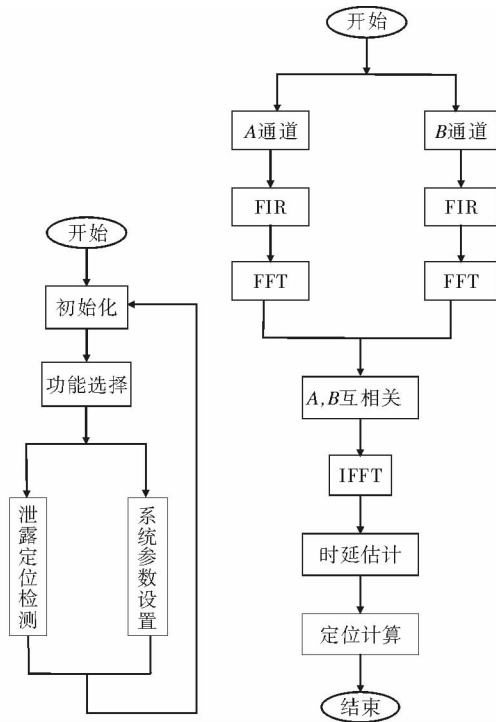


图 5 系统软件流程和数据处理软件流程图

数据处理程序是本设计的核心部分,这部分程序的功能是对接收到的数据预先进行滤波处理,然后分别对 2 个通道数据进行快速傅里叶变换,将时域信号转换为频域信号.转换完毕后将 2 个通道信号的傅里叶变换进行相关分析,得到相关函数序列,从相关函数的序列中找到峰值点(就是 2 个通道信号之间的时间差),再根据其他相关信息,就可以对地下管道的漏点进行定位了。

软件设计中采用较成熟的 FFT 算法^[6],结合硬

件采用 DSP 芯片实现,数据处理速度很快,因此系统实时性较好。

4 测试结果及讨论

在长度为 15 m 的自来水管道的 A, B 两端固定 2 个传感器,然后在中间放水模拟漏点.漏水点距离 A 端 $L_A = 6$ m,测试共采集了 10 组数据,经过处理,测试结果如表 1 所示.由表 1 可知,测试绝对误差最大为 0.21 m,效果比较理想。

表 1 测试结果

序号	L_A/m	误差/m	序号	L_A/m	误差/m
1	5.81	0.19	6	5.89	0.11
2	5.79	0.21	7	6.13	-0.13
3	6.03	-0.03	8	6.05	-0.05
4	6.12	-0.12	9	5.98	0.02
5	5.96	0.04	10	6.07	-0.07

5 结论

本文针对传统方法可靠性差的问题,以高速、低功耗的 DSP 芯片为控制和处理核心,并辅以数据采集、键盘和显示电路,给出了地下管道漏点快速定位系统的设计.实际测试表明,该系统具有精度高、实时性好、成本低、功耗低等特点.但是,该系统仅限于漏点在 2 个传感器之间,并且仅有 1 个漏点的检测,当漏点在 2 个传感器之外或存在多个漏点时仍无法准确定位.因此,改进系统以便其能适应更多情况下的漏点检测,将是下一步的研究重点。

参考文献:

- [1] 李卫海,林碧华,廖海山.城镇排水管道技术的发展与应用[J].广州建筑,2009(1):33.
- [2] 王继华,彭振斌,关镶锋.供水管网检漏技术现状及发展趋势[J].桂林工学院学报,2004(10):456.
- [3] 邱增凯,王启万,孙中,等.地下自来水管道的测漏仪的改进设计[J].气象水文海洋仪器,2003(3):29.
- [4] 王言章,程德福,张宁.地下管线测漏仪中数据的采集和预处理[J].管道技术与设备,2004(3):11.
- [5] 熊印国.基于 TMS320 的矿井深度指示器的设计与应用[J].矿山机械,2011(10):42.
- [6] 李永胜,丁永泉,吕林夏.基于 FFT 的水下动目标回波仿真[J].四川兵工学报,2012(1):136.

基于小波变换的抑制心电信号噪声方法研究

郑晓婉¹, 董洁², 苗维普³

- (1. 郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002;
2. 河南财政税务高等专科学校 信息工程系, 河南 郑州 450000;
3. 郑州市起重自动化工程研究中心, 河南 郑州 451191)

摘要:针对在采集心电信号的过程中容易产生多种多样噪声的问题,利用小波函数的多尺度多分辨率的特性,采用小波变换分解重构的方法,选用4尺度对心电信号进行滤波处理.仿真结果表明,该方法对于50 Hz工频干扰、肌电干扰、基线漂移有较好的抑制作用,为心电信号QRS波的识别奠定了良好的基础.

关键词:小波变换;多尺度;分解重建;心电信号噪声抑制

中图分类号:R318.6;TH776 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.003

Research on filtering the interferences of ECG signal based on wavelet transform

ZHENG Xiao-wan¹, DONG Jie², MIAO Wei-pu³

- (1. College of Electr. and Infor. Eng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China;
2. Dept. of Infor. Eng., He'nan College of Finance and Taxation, Zhengzhou 450000, China;
3. Hoisting Auto. Eng. Research Center of Zhengzhou, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: In order to solve the problem that there are all kinds of interferences during the process of collecting ECG signal, according to the characteristics of multi-scale and multi-analysis based on the wavelet transform, the decomposing and rebuilding method was used for four scale-ECG signal filtering. The results showed that the method could filter 50 Hz interference, EMG interference and baseline drift. And it makes a good foundation for testing the QRS wave of ECG signal.

Key words: wavelet transform; multi-scale; decomposing and rebuilding; filtering the interferences of ECG signal

0 引言

人体心电信号是人类最早研究并应用于医学临床的生物电信号之一,它是一种低频率的微弱信号,在进行心电图检测的时候,心电信号会受到多

种噪声的干扰.因此,为了抑制噪声和消除伪迹,增强心电信号中的有效成分,提高波形识别和检测的准确率,心电信号的滤波至关重要.在早期的心电图机中,主要通过硬件电路的设计抑制干扰和噪声.随着微型计算机和微处理器的问世,数字滤波

收稿日期:2012-03-14

基金项目:国家自然科学基金项目(61002007)

作者简介:郑晓婉(1979—),女,河南省南阳市人,郑州轻工业学院助教,硕士,主要研究方向为测试计量技术及仪器.

器渐渐显现出取代模拟滤波器的趋势. 常见的数字滤波方法有以下几种: 1) 平滑滤波是较早应用于这一领域的滤波算法, 缺点是具有低通特性, 通频带窄, 对心电信号中的 QRS 波有较大的削峰, 信号衰减很大, 因此只能应用于对信号波形要求不高的场合^[1]; 2) 固定中心频率陷波器是采用 FIR 或 IIR 的数字陷波器, 在工频(50/60 Hz)附近形成阻带实现滤波, 但是工频干扰的中心频率是随时间波动的, 工频干扰的频率波动会严重影响这种方法的滤波效果, 工频附近的心电信号成分会在一定程度上被削弱^[2-3]; 3) 改进的 Levkov 滤波法对心电信号的线性段和非线性段采用不同的处理方式^[4], 但实际应用中心信号采样频率是固定的, 而工频频率是波动的, 这就有可能影响滤波效果; 4) 自适应滤波器可以跟踪信号和噪声的变化, 从而使滤波器特性随信号和噪声的变化而变化, 以达到最优滤波, 但是自适应滤波器对工频干扰有很强的抑制作用^[5]. 小波变换(wavelet transform)是一种多分辨率分析手段, 在时域和频域都有良好的局部化性质, 它通过对高频分量成分在时域和频域进行逐步精化的取样, 能够注意到对象的任意细节. 同时小波变换还能够将各种交织在一起的不同成分的信号分解为不同频率的分量. 目前, 已有小波变换应用于抑制心电信号噪声的报道, 但尺度的选择或者过大, 或者过小, 都会对消噪效果产生影响. 鉴于心电信号受到的 3 种干扰频率是不同的, 本文选择 4 个尺度, 在不同尺度上将心电信号展开, 再对不同尺度子信号进行分解处理, 以期实现设计简单且提高消噪效果的目的.

1 设计原理

小波具有多分辨率分解的特性, 能将信号在不同尺度下进行多分辨率的分解, 并将由各种不同频率组成的混合信号分解成不同频段的子信号. 利用这一特性, 可采用小波分解与重构的方法去噪, 其基本原理就是, 将含有各种噪声的心电信号分解到不同的频带内, 然后再对噪声所处的频带进行处理, 最后将分解的信号重构, 这样就去除了心电信号中的噪声. 图 1 为小波分解与重构过程原理图.

图 1 中: $\downarrow 2$ 表示抽样, 即每两点取一点; $\uparrow 2$ 表示零插值, 即每两点间补 1 个零点; $H_0(z)$, $H_1(z)$ 分别是分解用的低通滤波器和高通滤波器, 将信号分

解为低频部分和高温部分; $G_0(z)$, $G_1(z)$ 是重构用的综合滤波器, 把分解的信号重构.

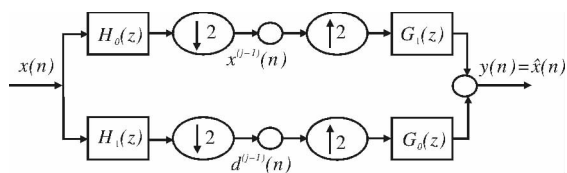


图 1 小波分解与重构过程原理图

2 小波函数的多尺度分解与重构

2.1 多尺度分解

多尺度分解又称为多分辨率分解, 它将小波变换和数字滤波器理论结合起来, 是建立在函数空间概念上的理论. 若把尺度理解为照相机镜头的话, 当尺度由大到小变化时, 就相当于将照相机镜头由远及近地接近目标. 在大尺度空间里, 相当于在远镜头下观察目标, 只能看到目标的概貌; 在小尺度空间里, 相当于在近镜头下观察目标, 能看到目标的细微部分. 因此, 随着尺度由大到小的变化, 在各尺度上可以由粗及细地观察目标, 这就是多尺度的思想.

2.2 分解与重构

文献[6]引入了一种小波变换快速算法, 对离散信号 $x(n)$ 进行分解, 推导出了离散平滑逼近

$$x^{(j)}(k) = \sum_n h_0(n-2k)x^{(j-1)}(n) \quad (1)$$

和离散细节信号

$$d^{(j)}(k) = \sum_n h_1(n-2k)x^{(j-1)}(n) \quad (2)$$

式中, $x^{(j)}(k)$ 代表 $a=2^{-j}$ 下的离散概貌信号, $d^{(j)}(k)$ 代表 $a=2^{-j}$ 下的离散细节信号, 也就是 $x(n)$ 在 $a=2^{-j}$ 下的二进小波变换. 由此可知, 只要 h_{0k} , h_{1k} 已知(可由 $\phi(t)$, $\varphi(t)$ 求得), 就可以计算 $x(n)$ 的二进小波变换值.

重构是分解的逆运算, 对于数字信号的二进小波变换, 其信号重构算法的基本关系式为

$$x^{(j-1)}(n) = \sum_{k \in z} g_0(2k)x^{(j)}(n-2^j k) + \sum_{k \in z} g_1(2k)d^{(j)}(n-2^j k)$$

3 算法与仿真

利用二次样条小波将心电信号分解到 $j=1, 2, 3, 4$ 共 4 个尺度. 这样不同频段的噪声也被分解到

了各个尺度上. 分解后, 在 $j=1, 2$ 的较小的尺度上主要集中了心电信号的高频部分, 其中包括工频干扰和肌电干扰; 在 $j=3, 4$ 尺度主要集中了心电信号中的 QRS 波的能量, 高频干扰和低频干扰在此二尺度上都有了最大的衰减, 且在 $j=3$ 的尺度上 QRS 波的能量最大, 以尺度 $j=3$ 为中心, 无论尺度变大或变小, QRS 波的能量都逐渐减小; 在 $j=5$ 以后的尺度上主要集中了心电信号的低频部分, 其中包括基线漂移^[7]. 表 1 为噪声干扰在各个尺度上的分布.

表 1 噪声干扰在各个尺度上的分布

尺度	频率范围/Hz	工频干扰频率约 50~60/Hz	肌电干扰频率约 30~300/Hz	基线漂移频率约 <0.05/Hz
$S=2^1$	62.5~125	—	部分存在	—
$S=2^2$	18~58.5	部分存在	部分存在	—
$S=2^3$	8~27	—	—	—
$S=2^4$	4~13.5	—	—	—
$S=2^5$	2~6.5	—	—	存在于 $j>5$ 的尺度

根据分解重构原理, 可以将各个尺度上的噪声处理掉, 再将处理后的各尺度上的信号重构, 也就实现了心电信号的滤波. 首先在 $j=3$ 的尺度上找出 QRS 波, 因为在 $j=3$ 的尺度上 QRS 波的能量最大, 然后在其他 3 个尺度上找出与之对应的点, 这样各个尺度的 QRS 波就找到了; 然后, 只保留找到的 QRS 波, 也就是上一步找到的各个点, 而把其他点置 0, 那么也就将噪声去除了; 最后再将处理后的 4 个尺度上的信号重构, 就得到了去除噪声的心电信号. 滤波程序的流程如图 2 所示.

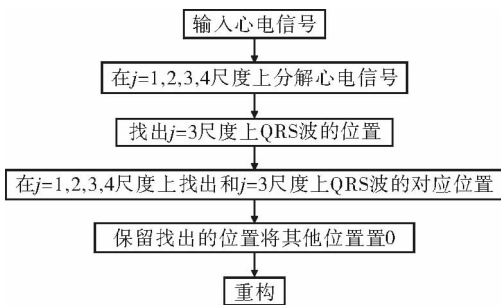


图 2 滤波程序流程图

Matlab 仿真结果如图 3 所示, 可以看出心电信号去噪效果良好.

4 结语

本文利用小波函数的多尺度多分辨分析的特

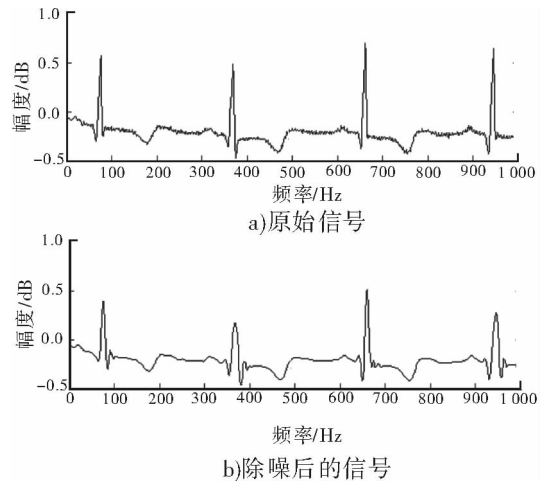


图 3 消噪仿真结果

点, 采用小波变换分解重构的方法, 选用 4 个尺度对心电信号进行了滤波处理. 仿真结果表明, 该方法对于常见的心电信号噪声有较好的抑制作用. 本文在算法上根据能量分布特点选取了 4 个尺度, 对于 50 Hz 工频干扰、肌电干扰、基线漂移有较好的抑制作用, 为下一步 QRS 小型识别打下了良好的基础.

参考文献:

- [1] 范能胜, 陆尧胜. 基于平滑滤波器的心电信号基线漂移的矫正[J]. 医疗卫生装备, 2006(1): 31.
- [2] 孟旭, 唐晓英, 刘伟峰, 等. 消除心电信号工频干扰的新型 IIR 自适应陷波器设计[J]. 医疗卫生装备, 2008(8): 15.
- [3] 王立会, 潘冬明. 一种消除心电信号中工频干扰的陷波器设计[J]. 医疗设备信息, 2007(7): 18.
- [4] 孙京霞, 白延强, 杨玉星. 一种抑制心电信号 50 Hz 工频干扰的改进 Levkov 方法[J]. 航天医学与医学工程, 2000(3): 196.
- [5] 梁津国, 罗二平, 申广浩, 等. 基于自适应滤波器的表面肌电信号消噪方法研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2008(3): 679.
- [6] 李媛. 小波分析及其工程应用[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2010.
- [7] 刘雄飞, 郭爽, 李长庚, 等. 非均匀噪声分布心电信号的奇异值小波消噪法[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2009(5): 1374.

基于BP神经网络的 阀控铅酸盐蓄电池劣化程度预测

李东玉¹, 王睿², 冯宜民³

(1. 河南省太康县电业管理局, 河南 太康 461400;

2. 河南省范县供电局, 河南 范县 457500;

3. 洛阳市人力资源和社会保障局, 河南 洛阳 471003)

摘要:为了提高对阀控铅酸盐蓄电池劣化程度的预测准确度,构建了一个具有自学习功能的BP神经网络预报模型,使用不同放电深度下的192组数据对BP神经网络进行训练和学习,然后使用训练好的BP神经网络对实时采集到的数据进行预报和分析,预报准确率达93%以上,证明预报模型具有较高的可靠性.

关键词:阀控铅酸盐蓄电池;BP神经网络;劣化程度预测

中图分类号:TM561 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.004

Impairment degree forecast for valve regulated lead acid battery based on BP neural network

LI Dong-yu¹, WANG Rui², FENG Yi-min³

(1. Taikang County Electric Power Administration, Taikang 461400, China;

2. Fan County Power Supply Bureau, Fan County 457500, China;

3. Human Resources and Social Security of Luoyang City, Luoyang 471003, China)

Abstract: In order to improve forecast accuracy of impairment degree for valve regulated lead acid battery, a forecast model based on neural network with autonomic learning function was structured. The BP neural network was trained and learned using 192 different discharge degree data, then the real-time collection data were forecasted and analyzed using trained BP neural network. The forecast accuracy is above 93%, which proves the forecast model's validity.

Key words: valve regulated lead acid battery; BP neural network; impairment degree forecast

0 引言

在供电系统中,通信系统非常重要,而蓄电池

则是通信系统的“心脏”,它是保证通信系统安全运行的关键.蓄电池的作用在于当电网发生停电或充电系统故障时,能够为通信系统和其他UPS电源提

收稿日期:2012-03-19

基金项目:河南省电力公司科技攻关项目(豫电科20111613)

作者简介:李东玉(1970—),男,河南省太康县人,河南省太康县电业管理局工程师,主要研究方向为电业生产技术及管理工作.

供后备电源,保证通信系统的安全运行,以及变电站内事故照明、数据库服务器等重要设备的正常运行,为工作人员进行抢修提供必要的缓冲时间。

目前,国内电力系统中使用的蓄电池主要是阀控铅酸盐蓄电池,简称VRLA(valve regulated lead-acid battery)^[1]。与传统的敞开型电池相比,阀控铅酸盐蓄电池具有密封程度高、电池的自放电系数很小、使用寿命长、维护工作量极小、大电流放电特性好等优点^[2]。国内外学者对阀控铅酸盐蓄电池状态监测进行研究并取得大量的成果,刘百芬等^[3]提出了基于鉴相处理技术的方法,对阀控铅酸盐蓄电池的内阻进行在线测量,取得了不错的结果,但是这种测量方法数据分析较为困难。韩团军^[4]在分析阀控铅酸盐蓄电池充放电过程反应机理的基础上,应用神经网络算法,建立了阀控铅酸盐蓄电池的神经网络模型,用于预报阀控铅酸盐蓄电池放电过程中某一状态下的剩余容量,在一定程度上提高了预报的准确性。舒服华^[5]提出了一种最小二乘支持向量机的阀控铅酸盐蓄电池剩余电量预报新模型,对采集到的数据进行分析,进一步提高了预报精度。

本文在对阀控铅酸盐蓄电池劣化因素分析的基础上,提出基于BP神经网络的阀控铅酸盐蓄电池劣化程度预测,以期及早发现蓄电池组的异常状态,确保其为通信系统提供稳定的服务。

1 阀控铅酸盐蓄电池劣化因素分析

影响阀控铅酸盐蓄电池劣化因素很多,主要包括以下方面。

1) 环境温度。环境温度过高对蓄电池使用寿命的影响很大。温度升高时,蓄电池的极板腐蚀将加剧,同时将消耗更多的水,从而使电池寿命缩短。典型的蓄电池高于25℃时,每升高6~9℃,电池寿命缩短一半。

2) 过度充电。过充电将使产生的气体无法完全再化合,从而引起蓄电池内部压力增加,当到达一定压力时,安全阀打开,氢气和氧气逸出,同时带出酸雾,消耗有限的电解液,导致蓄电池容量下降或早期失效。其次,在长期过充电状态下, H^+ 增加,从而导致正极附近酸度增加,板栅腐蚀加速,使板栅变薄,加速蓄电池的腐蚀,使蓄电池容量降低,从而影响蓄电池的寿命。为避免产生多余的气体,蓄电池对充电机稳压、限流精度提出了较高的要求。

3) 过度放电或小电流放电。当蓄电池被过度放电时,会在电池的阴极造成硫酸盐化。因硫酸铅是一种绝缘体,它的形成必将对蓄电池的充、放电性能产生很大的负面影响。在阴极上形成的硫酸盐越多,蓄电池的内阻越大,电池的充、放电性能就越差,蓄电池的使用寿命就越短。小电流放电条件下形成的硫酸铅,要氧化还原是十分困难的,若硫酸铅晶体长期得不到清理,必然会影响蓄电池的容量和使用寿命。

2 BP神经网络模型建立

本文根据所测的电压、内阻和放电深度等数据,使用模糊神经网络对所测数据进行分析。

2.1 数据分析

由以上分析可知,蓄电池劣化程度的高低主要由电压、内阻和放电深度3个指标来表示。本文的蓄电池组为同一公司生产的蓄电池,共48只,蓄电池组在刚投入运行的时候进行了人工放电检测,整组蓄电池都是完好无损的,并且测得蓄电池组在充满电的情况下电压范围为2.3~2.4V,电阻范围为5.3~5.9mΩ,蓄电池组放电的最低允许电压为1.8V。本次数据的采集是在蓄电池组运行4年后,在不同放电深度下进行的。蓄电池的放电深度分别取5%,10%,15%和20%这4个等级,共有192组数据。表1数据显示了电压、内阻和放电深度3个指标和蓄电池劣化程度的关系。

表1 数据关系表

放电深度/%	电压/V	内阻/mΩ	劣化程度/%
5	2.32	5.54	100
5	2.31	5.88	97.1
5	2.31	6.01	93.8
10	2.29	5.61	100
10	2.28	5.93	96.9
10	2.28	6.11	93.6
15	2.21	5.71	100
15	2.21	6.01	97.0
15	2.19	6.08	93.7
20	2.08	6.12	99.7
20	2.08	6.21	97.2
20	2.09	6.25	93.8

2.2 模型建立

本文采用BP神经网络模型对蓄电池劣化程度进行分析。BP神经网络又叫误差逆传播算法,典型

的 BP 神经网络是 3 层结构,即输入层、隐含层和输出层,各层之间实行全连接. 根据前面的数据分析可知,神经网络的输入量为放电深度、电压、内阻 3 个数据,输出量为蓄电池的劣化程度. 所以本系统的神经网络模型为 3 输入、单输出,其结构如图 1 所示.

BP 神经网络的学习,由 4 个过程组成:模式顺传播、误差逆传播、记忆训练、学习收敛.

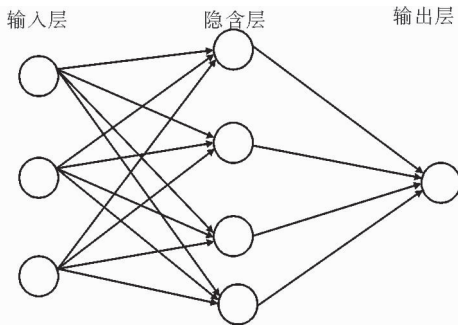


图 1 BP 神经网络模型结构图

1) 模式顺传播. 输入模式是由输入层经中间层向输出层输出的过程. 模式顺传播是由输入模式提供数据给网络的输入层开始的,输入层的各单元对应于输入模式向量的各个元素. 设输入模式向量为

$$A_k = (a_1, a_2, \dots, a_n) \quad k = 1, 2, \dots, m$$

其中, m 为学习模式对, n 为输入层单元个数. 对应输入模式的希望输出向量 $Y_k = (y_1, y_2, \dots, y_q)$, 其中 q 为输出层单元个数. 根据 BP 神经网络的计算原理,首先按公式①计算出隐含层各单元的输入

$$s_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} a_i - \theta_j \quad j = 1, 2, \dots, p \quad \text{①}$$

式中, s_j 为隐含层的输入值; θ_j 为隐含层的阈值; p 为隐含层单元个数; w_{ij} 为连接 i, j 2 层神经元之间的权值. 为模拟生物神经元的非线性特性,以 s_j 作为 S 函数的自变量,计算隐含层各单元的输出, S 函数的数学表达式为

$$b_j = f(s_j) = \frac{1}{1 + e^{-s_j}} = \frac{1}{1 + e^{-\sum_{i=1}^n w_{ij} a_i + \theta_j}} \quad \text{②}$$

式中, b_j 为隐含层 j 单元的激活值; 单元输出阈值 θ_j 是为模拟生物神经元的阈值电位而设置的,它和连接权一起不断被修正. 输出层各单元输入输出计算方法为

$$L_t = \sum_{j=1}^p v_{jt} - \gamma_t \quad C_t = f(L_t) \quad t = 1, 2, \dots, q \quad \text{③}$$

式中, v_{jt} 是隐含层至输出层的连接权, γ_t 是输出层单

元阈值, f 是 S 函数, C_t 是输出层神经元的输出结果, L_t 是输出层神经元的输入值. 至此,一个输入模式完成了一遍顺传播过程.

2) 误差逆传播. 误差逆传播的第 1 步是进行误差计算. 误差逆传播过程是由输出层的误差 d_j 向隐含层的误差 e_i 传递的过程,输出层的校正误差计算公式为

$$d_i^k = (y_i^k - C_i^k) f'(L_i) \quad t = 1, 2, \dots, q \quad k = 1, 2, \dots, m \quad \text{④}$$

式中, $(y_i^k - C_i^k)$ 项表示网络希望输出与实际输出的绝对误差, $f'(L_i)$ 项根据各单元的实际响应调整偏差量. 为完成误差向隐含层的传递,需要计算隐含层各单元的校正误差,其计算公式为

$$e_j^k = \sum_{i=1}^q v_{ji} d_i^k f'(s_j) \quad j = 1, 2, \dots, p \quad k = 1, 2, \dots, m \quad \text{⑤}$$

式⑤的物理意义与④相似,只不过每个中间隐含层单元的校正误差都是由 q 个输出层单元校正误差传递而产生的.

得到了校正误差 d_i^k 与 e_j^k 之后,沿逆方向调整整个输出层至隐含层、隐含层至输入层之间的连接权以及各单元的阈值,其调整公式如下:

$$\Delta v_{jt} = \partial d_i^k b_j^k \quad j = 1, 2, \dots, p$$

$$\Delta \gamma_t = \partial d_i^k \quad t = 1, 2, \dots, q \quad k = 1, 2, \dots, m$$

$$0 < \partial < 1 \text{ (学习系数)}$$

$$\Delta w_{ij} = \beta e_j^k a_j^k \quad 0 < \beta < 1 \text{ (学习系数)}$$

$$\Delta \theta_j = \beta e_j^k \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, p$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

以上是 BP 神经网络算法中最为重要的 2 步,其他 2 步训练过程和收敛过程相对简单,这里不再详细说明.

2.3 BP 神经网络算法改进

传统的 BP 算法计算速度慢,容易陷入局部最小点,所以实际使用效果不明显,本文拟对 BP 算法进行改进. 常见的 BP 算法有累积误差校正算法、 S 函数输出限幅算法、惯性校正算法等,本文采用惯性校正算法来对传统 BP 算法进行改进.

所谓惯性校正算法,就是在每一次对连接权或输出阈值进行校正时,按一定的比例加上前一次学习时的校正量,即惯性项,以加速网络学习的收敛,具体作法如下式所示:

$$\Delta W(N) = d + \eta \Delta W(N-1)$$

式中, $\Delta W(N)$ 为本次应得校正量, $\Delta W(N-1)$ 为前一次校正量, d 为本次误差计算得到的校正量, η 为

惯性系数($0 < \eta < 1$). 试验表明,改进后的BP算法效果远远好于原来的BP算法,提高了对蓄电池故障诊断的准确性和及时性.

3 网络训练及预测结果分析

利用改进的BP神经网络对采集到的192组数据进行训练和分析,图2为训练过程的误差变化图形.从图2可以看出,随着训练次数的增加,训练误差逐步减小,经过1000次训练后,训练均方误差降低到0.01以下,此时神经网络输出结果基本满足要求.然后另外实时采集100组数据,使用训练好的BP神经网络对其进行预测,并与实际情况进行对比,预报准确率在93%以上,符合预测预报要求.预测与实际结果对比说明BP神经网络方法可以应用于阀控铅酸盐蓄电池的智能预测和预报,并且可以大大提高预报准确度.

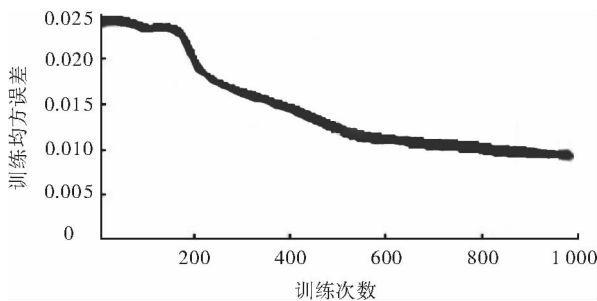


图2 训练过程误差变化图形

4 结论

本文构建了一个具有自学习功能的BP神经网络预报模型,使用不同放电深度下采集的192组数据对BP神经网络进行训练和学习,然后使用训练好的BP神经网络对实时采集到的数据进行预报和分析,通过比较预报数据和实测数据证实,本文构建的BP神经网络预报结果能够以93%以上的准确度逼近真实值,达到了对阀控铅酸盐蓄电池在线监测的目的.

参考文献:

- [1] Rand D A J, Moseley P T, Garche J, et al. Valve-regulated Lead-acid Batteries[M]. London: Elsevier, 2004: 8 - 12.
- [2] 朱松然. 铅酸蓄电池实用手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992: 22 - 46.
- [3] 刘百芬, 程海林. 一种新型的蓄电池内阻测量方法的研究及实现[J]. 仪表技术与传感器, 2004, 40(5): 49.
- [4] 韩团军. 基于神经网络的铅酸蓄电池剩余容量预测[J]. 陕西理工学院学报, 2008, 24(4): 26.
- [5] 舒服华. 基于最小二乘支持向量机的电池剩余电量预测[J]. 电源技术, 2008, 32(7): 452.

内藏钢框架低剪力墙的试验研究

陶军平¹, 胡愈²

(1. 湖南省建设工程质量安全监督管理总站, 湖南 长沙 410016;

2. 河南工程学院 土木工程系, 河南 郑州 451191)

摘要:通过对普通混凝土低剪力墙、内藏钢筋桁架、内藏钢桁架低剪力墙模型试验研究,发现内藏钢筋桁架、内藏钢桁架低剪力墙开裂荷载和极限荷载都比普通混凝土低剪力墙高,极限荷载分别比普通剪力墙提高29.1%和73.9%,延性系数分别比普通剪力墙提高31.9%和67.4%。这说明它们具有良好的弹塑性变形能力,是一种性能良好的结构构件。

关键词:低剪力墙;内藏钢筋桁架;内藏钢桁架;延性性能

中图分类号:TU375.5 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.005

Experiment study of inner steel frame low shear wall

TAO Jun-ping¹, HU Yu²

(1. Hunan Construction Eng. Quality Safety Supervision and Management Station, Changsha 410016, China;

2. Dept. of Civil Eng., Henan Inst. of Eng., Zhengzhou 451191, China)

Abstract: Through the experimental study of low shear wall of normal concrete, inner steel truss and inner truss models, it was proved that the cracking load and ultimate load had been increased in the low shear wall of inner steel truss and inner truss. The ultimate cracking load had increased 29.1% and 73.9% respectively and the ductility had increased 31.9% and 67.4% respectively than low shear wall of normal concrete. Furthermore, the good plastic deformation had been proved that existed in inner steel truss and inner truss models. Then a conclusion that it can be drawn an structure component with good properties.

Key words: low shear wall; inner steel truss; inner truss; ductility

0 引言

在多层底部框剪结构和高层底部大空间结构中经常出现一些低剪力墙,低剪力墙为结构抗侧力的主要部件,但其延性较差,而且剪力墙的数量及厚度又常常受到建筑功能要求的限制,因此研制抗震性能好的低剪力墙是工程界十分关心和亟待解

决的问题。

1975年日本首先把钢板剪力墙应用在高层结构中^[1],美国于1976年也将钢板剪力墙应用到建筑结构中^[2]。日本的武藤清教授在1965年提出了带竖缝剪力墙的概念^[3],即在整体墙上设置若干条平行的竖向通缝,缝中的钢筋被截断并且不填充混凝土和其他材料。这种开通缝剪力墙改变了整体剪力墙

收稿日期:2012-03-20

基金项目:北京市属市管高校拔尖创新人才基金项目(05004311200501)

作者简介:陶军平(1976—),男,湖北省应城市人,湖南省建设工程质量安全监督管理总站工程师,主要研究方向为结构工程。

的受力性能和机理,使剪力墙由原来的墙板以受剪切力为主转变成各墙肢以受弯曲力为主,其破坏特征也转变为延性较好的弯曲破坏,从而大大地提高了剪力墙的延性.但是结构抗震性能的优劣不能仅以延性作为唯一标准,带通缝剪力墙是以牺牲结构的初始刚度和承载力来提高延性的,通常其承载力减少到原来的65%,刚度减少到原来的60%.国内外已有的型钢混凝土组合剪力墙和内藏钢框架混凝土组合剪力墙都是较好的设计方案,它们均属于钢-混凝土组合剪力墙,具有显著的优势:与混凝土结构相比,由于型钢混凝土组合剪力墙中型钢与其外包混凝土结构共同工作,2种材料的强度都能得到充分利用,型钢在施工阶段可作为支架结构,减少了支撑模板的人工和材料,施工期限大为缩短^[4].鉴于此,本文拟通过对普通混凝土低剪力墙、内藏钢筋桁架、内藏钢桁架低剪力墙模型试验研究,以比较其弹塑性变形能力.

1 研究方法

针对型钢混凝土结构的特性进行试验.采用3个1/3缩尺、剪跨比为1.5的低剪力墙和1个剪跨比为1.5的钢桁架进行抗震性能试验研究.3个试件为1个普通混凝土低剪力墙、1个内藏钢筋桁架混凝土低剪力墙、1个内藏钢桁架混凝土低剪力墙.

1.1 试验模型

本试验共设计3个模型构件,即3个“一”字型低剪力墙试件,编号分别为SW1.5—1,SW1.5—3,SW1.5—5.其中,SW1.5—1为普通混凝土低剪力墙,SW1.5—3为内藏钢筋桁架混凝土低剪力墙,SW1.5—5为内藏钢桁架混凝土低剪力墙.

配筋及构造要求参考文献[5-11],各剪力墙试件的配筋及配置的型钢均对称.各试件尺寸及配筋见表1.这3个试件的模板见图1,配筋图见图2—图4.剪力墙混凝土的设计强度等级为C35,采用细石混凝土,基础混凝土为设计强度为C40的商品混凝土,槽钢采用热轧普通5号槽钢(图中表示为【5】).

3个剪力墙的混凝土配合比为水泥:砂:石:水=1:1.27:2.97:0.49,坍落度为100~200mm.本试验制作的混凝土立方体试块尺寸为100mm×100mm×100mm,在与模型同条件下养护,进行试验时测得的混凝土强度值 $f_{cu}(100)$ 即是试块实测强

表1 3个试件设计参数

试件编号	SW1.5—1	SW1.5—3	SW1.5—5	
试件说明	普通	内藏钢筋桁架	内藏钢桁架	
墙板宽/mm	1 000	1 000	1 000	
墙板厚/mm	150	150	150	
墙板净高/mm	1 350	1 350	1 350	
墙板水平分布筋	$\phi 6@75$	$\phi 6@75$	$\phi 6@75$	
墙板竖直分布筋	$\phi 6@70$	$\phi 6@70$	$\phi 6@70$	
边柱截面 $b \times h$ /mm	150 × 150	150 × 150	150 × 150	
边柱高/mm	1 500	1 500	1 500	
边柱主筋	6 $\phi 8$	6 $\phi 8$	6 $\phi 8$	
边柱箍筋	$\phi 4@70$	$\phi 4@70$	$\phi 4@70$	
型钢边框	无	无	【5】	
暗支撑	主筋	无	无	4 $\phi 12$
	箍筋	无	无	$\phi 4@50$
	型钢暗支撑	无	【5】	无
加载梁	高/mm	300	300	300
	宽/mm	200	200	200
	长/mm	1 100	1 100	1 100
基础梁	主筋	4 $\phi 18$	4 $\phi 18$	4 $\phi 18$
	箍筋	$\phi 8@100$	$\phi 8@100$	$\phi 8@100$
	高	450	450	450
基础梁	宽	400	400	400
	长	1 700	1 700	1 700
	主筋	7 $\phi 20$	7 $\phi 20$	7 $\phi 20$
	箍筋	$\phi 8@100$	$\phi 8@100$	$\phi 8@100$

度值, $f_{cu}(150)$ 为换算为标准尺寸后试块的强度值.混凝土的材料力学性能见表2.

表2 混凝土材料力学性能

试件编号	立方体抗压强度 $f_{cu}(100)$ /MPa	立方体抗压强度 $f_{cu}(150)$ /MPa	弹性模量 $\times 10^4$ /MPa
SW1.5—1	51.16	48.6	3.16
SW1.5—3	50.32	47.8	3.17
SW1.5—5	50.00	47.5	3.20

1.2 试验加载模式

本试验在北京工业大学结构实验室进行,采用低周反复荷载的加载方式,在距离基础顶面1 500 mm高度处用拉压千斤顶施加低周反复水平荷载;竖向荷载加载系统由反力架、反力梁和垂直千斤顶组成.千斤顶由独立的油路提供动力.千斤顶下面用分配梁将竖向荷载传递给试件,近似地模拟均布荷载.加载过程中由测力传感器测定力的大小.

在油压千斤顶和反力梁之间设置滚轴支承,故在试验过程中,竖向千斤顶可以随着试件的变形在

水平方向发生位移,并可最大限度地减少由于试件变形而引起的竖向油压千斤顶顶部支承处的水平摩擦力. 试验加载图见图 5.

1.3 测试内容及测点布置

本试验首先对各试件施加竖向荷载,使各试件的轴压比达到 0.2. 对 3 个试件先施加 500 kN 的竖向荷载. 测试内容主要有与水平力相应高度处剪力墙的水平位移、水平荷载值、钢筋应变、裂缝用肉眼

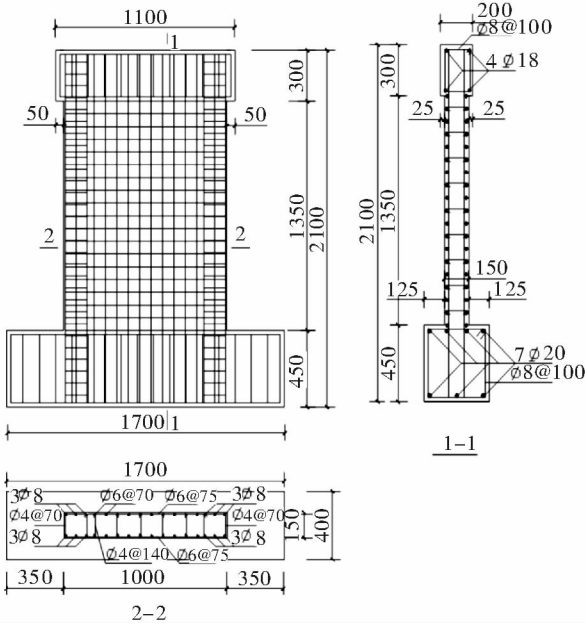


图 1 3 个试件的模板图/mm

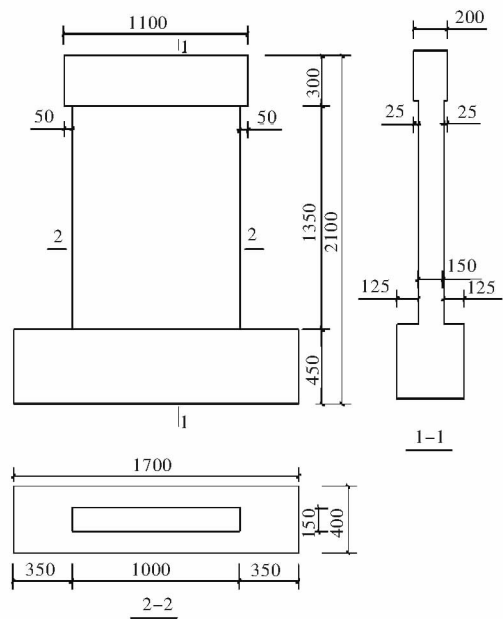


图 2 SW1.5-1 配筋图/mm

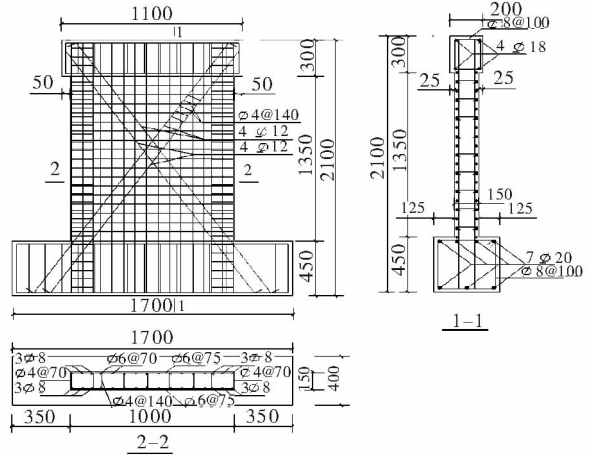


图 3 SW1.5-3 配筋及配钢图/mm

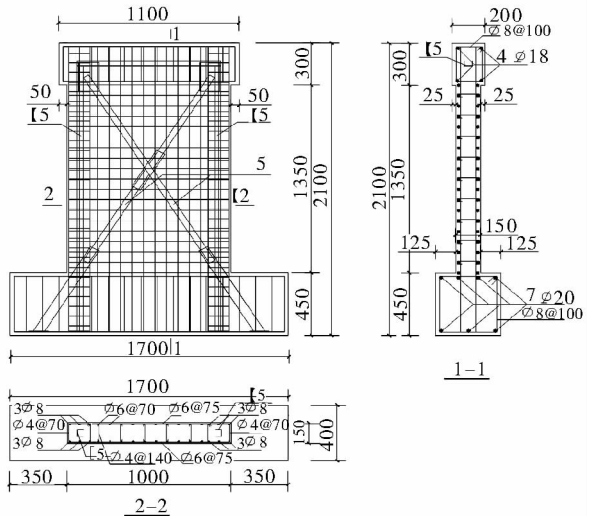


图 4 SW1.5-5 配筋图/mm

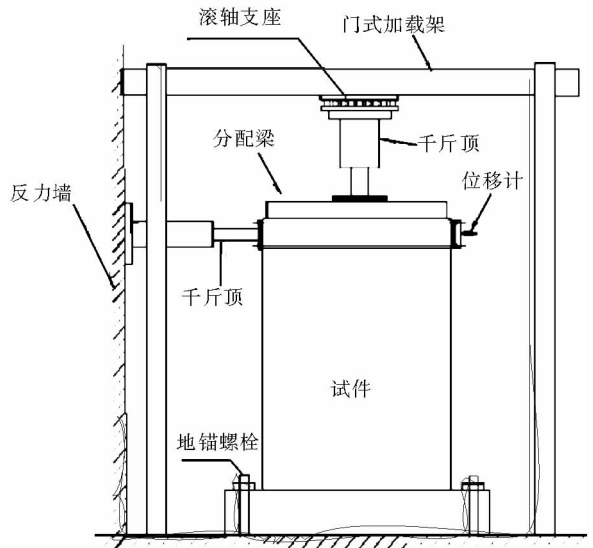


图 5 试验装置图

观察,并通过联机数据采集系统完成试验全过程的数据采集和处理。

位移的测量方法是,在剪力墙试件顶部距基础顶面1500 mm处布置一个位移传感器,接IMP应变数据采集系统.应变测点的布置旨在量测边柱纵筋应变(ZZ)、暗支撑钢筋应变(ZC)、暗支撑型钢应变(ZCX)、剪力墙横向钢筋应变(FBH)和剪力墙竖向钢筋应变(FBZ).在加载过程中,随时记录裂缝的发生、发展情况及裂缝宽度,同时用铅笔在旁边描出裂缝形状,并注明其宽度,记录加载的循环数及其荷载值。

2 结果分析

2.1 承载力分析

通过试验,分别测出了各剪力墙的开裂荷载、屈服荷载和极限荷载的正向值、负向值和正负两向平均值.因截面对称,所以在分析计算中,开裂荷载、屈服荷载和极限荷载取值均以各剪力墙试验正负两向平均值作为分析计算依据.具体荷载的实测值及其比值见表3.表中 F_c 表示剪力墙开裂水平荷载, F_y 表示剪力墙明显屈服水平荷载, F_u 为剪力墙极限水平荷载,即最大水平荷载. μ_{cy} 为开裂荷载与明显屈服荷载的比值, μ_{cu} 为开裂荷载与极限荷载的比值, μ_{yu} 为明显屈服荷载与极限荷载的比值,这里将其称为屈强比。

由表3可知:1)内藏钢筋桁架、内藏钢桁架低

剪力墙的开裂荷载均高于普通低剪力墙;2)内藏钢筋桁架、内藏钢桁架低剪力墙的屈服荷载和极限荷载均比普通低剪力墙明显提高,其极限荷载分别比普通低剪力墙提高了29.1%和73.9%。

2.2 延性性能及分析

各剪力墙位移及延性系数实测值见表4.表中位移指水平加载点同一高度处的相应水平位移.其中: U_c 为与 F_c 对应的开裂位移; U_y 为与 F_y 对应的屈服位移; U_d 为弹塑性最大位移,其取值为极限荷载下降至85%时所对应的位移;因剪力墙截面和配筋、配钢均对称,所以在分析计算中,开裂位移、屈服位移和弹塑性最大位移取值均以剪力墙试验正负两向平均值作为分析计算依据; $\theta_p = U_d/H$,为弹塑性位移角; $\mu = U_d/U_y$,为剪力墙的延性系数,是反映剪力墙延性的主要参数之一。

由表4可知:1)各剪力墙的开裂位移均值总体上相差不多.2)内藏钢筋桁架、内藏钢桁架低剪力墙的屈服位移均比普通低剪力墙小,说明钢筋桁架、钢桁架的存在制约了裂缝的开展,提高了结构的后期刚度.3)内藏钢筋桁架、内藏钢桁架低剪力墙的延性系数均比普通低剪力墙增大,其延性系数分别比普通混凝土低剪力墙提高了31.9%和67.4%.4)内藏钢筋桁架、内藏钢桁架低剪力墙的弹塑性位移比普通低剪力墙提高较多,其位移角较普通剪力墙增大较多,说明它们具有良好的弹塑性变形能力。

表3 各剪力墙开裂荷载、明显屈服荷载、极限荷载的实测值与比值

试件编号	正向/kN			负向/kN			正负两向均值/kN		
	F_c	F_y	F_u	F_c	F_y	F_u	F_c	F_y	F_u
SW1.5—1	102.05	281.16	294.54	95.95	283.49	299.77	99.00	282.33	297.16
SW1.5—3	132.29	339.02	381.76	117.76	349.49	385.25	125.03	344.26	383.51
SW1.5—5	113.68	431.48	509.98	147.70	431.19	523.65	130.69	431.34	516.82
试件编号	F_u 相对值			$\mu_{cy} = F_c/F_y$			$\mu_{cu} = F_c/F_u$		
SW1.5—1	1.000			0.351			0.333		
SW1.5—3	1.291			0.363			0.326		
SW1.5—5	1.739			0.303			0.253		

表4 各剪力墙位移及延性系数实测值

试件编号	正向/mm			负向/mm			正负两向均值/mm			θ_p	μ	μ 相对值
	U_c	U_y	U_d	U_c	U_y	U_d	U_c	U_y	U_d			
SW1.5—1	0.51	12.15	39.24	0.54	12.95	35.94	0.53	12.55	37.59	1/40	2.995	1.000
SW1.5—3	0.92	7.74	40.08	0.40	11.41	35.61	0.66	9.58	37.85	1/40	3.951	1.319
SW1.5—5	0.65	10.52	53.01	0.58	9.06	45.16	0.62	9.79	49.09	1/30	5.014	1.674

3 结论

通过试验研究分析可以发现,内藏钢筋桁架、内藏钢桁架低剪力墙的开裂荷载均高于普通低剪力墙,极限荷载分别比普通低剪力墙提高了 29.1% 和 73.9%;钢筋桁架、钢桁架的存在制约了裂缝的开展,提高了结构的后期刚度,使得剪力墙延性系数分别比普通混凝土低剪力墙提高了 31.9% 和 67.4%,弹塑性位移比普通低剪力墙提高较多,其位移角较普通剪力墙增大较多,说明它们具有良好的弹塑性变形能力.因此,内藏钢筋框架、内藏钢桁架混凝土低剪力墙属于性能较好的结构构件.

参考文献:

- [1] 日本建筑学会. 钢筋钢筋混凝土结构计算标准及解说[M]. 冯乃谦, 叶列平, 译. 北京: 能源出版社, 1998.
- [2] Roberts T M. Seismic resistance of steel plate shear wall[J]. Engineering Structure, 1995, 17(5): 344.
- [3] 武藤清. 结构物动力设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984.
- [4] 夏晓东. 钢筋混凝土有边框带竖缝低剪力墙抗震性能
- 的试验研究及延性设计[D]. 南京: 东南大学, 1989.
- [5] 曹万林. 内藏钢筋混凝土支撑设暗半通缝带边框抗震墙: 中国, 97244563. 3[P]. 1998-12-4.
- [6] 张建伟, 耿海霞, 曹万林, 等. 叠合柱边框内藏钢桁架带洞口组合核心筒抗震性能研究[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(11): 1668.
- [7] 常卫华, 曹万林, 赵长军, 等. 内藏钢桁架混凝土核心筒抗震试验及计算分析[J]. 北京工业大学学报, 2008, 34(4): 379.
- [8] 钱稼茹, 张扬, 纪晓东, 等. 复合钢管高强混凝土短柱轴心受压性能试验与分析[J]. 建筑结构学报, 2011(12): 162.
- [9] Cao W L, Xue S D, Zhang J W. Seismic performance of RC shear walls with concealed bracing[J]. Advances in Structural Eng, 2003, 6(1): 1.
- [10] 曹万林, 尹海鹏, 张建伟, 等. 再生混凝土框架-剪力墙结构抗震研究与应用[C]//第19届全国结构工程学术会议, 济南: 山东建筑大学, 2011: 273-279.
- [11] 董宏英, 蒋峰, 曹万林, 等. 钢-混凝土组合剪力墙抗震研究与发展[J]. 地震工程与工程振动, 2012(2): 144.

氯盐渍土抗拉强度特性的试验研究

周美丽, 侯炜

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要:以洛阳黄土为源土的室内配制氯盐渍土为研究对象,通过自制的单轴抗拉仪,进行了氯盐渍土抗拉特性试验,研究了干密度、初始含水率、含盐量对氯盐渍土抗拉强度的影响.试验结果表明,在相同含盐量和干密度下,抗拉强度与含水率呈对数关系;试样的抗拉强度随着干密度的增加而增加;在含水率小于15%时,破坏拉应力随着含盐量的增加,先减小后增大,拐点为8%;在含水率大于15%时,随着含盐量的增加,抗拉强度减小,而拉应变恰好相反;相同含盐量下,随着含水率的增加,破坏拉应力减小,破坏拉应变增大.

关键词:氯盐渍土;抗拉强度;单轴抗拉试验

中图分类号:TU448 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.006

Experiment study of tensile strength characteristics of chlorine saline soil

ZHOU Mei-li, HOU Wei

(School of Civil Eng., Huaqiao Univ., Xiamen 361021, China)

Abstract: To understand the tensile strength behavior of chlorine saline soil, the axial tensile test of chlorine saline soil specimens were carried out, using chlorine soil of Luoyang loess disposed indoors as an object of study. The influence of dry density, initial water content, salt content on the tensile strength of chlorine saline soil were investigated. The test result indicated that the logarithmic relation between tensile strength and water ratio under the same salt content and dry density are obtained; the tensile strength of samples increased with the increase of dry density; pulling stress decreased first and then increased with the increase of salt content when water content was less than 15%. The salt content of the inflexion was 8%. When the water content was more than 15%, the tensile strength decreased with the increase of salt content, while tension strain has an opposite changing law. With the increase of water content, the failure tensile stress decreased while the tension strain increased under the same salt content.

Key words: chlorine saline soil; tensile strength; axial tensile test

0 引言

我国盐渍土面积大、分布广,而盐渍土对建筑工程会产生较大的危害,如引起地基不均匀沉降、

墙身泛碱、墙皮脱落、墙面砖和地板砖内长毛、钢筋锈蚀、混凝土结构构件受到破坏以及盐胀造成的工程寿命降低等^[1-3]. 针对盐渍土地质特点,常用的处理方法及措施包括防水隔水、结构加强、浸水预溶、

收稿日期:2012-02-28

基金项目:华侨大学科研启动基金项目(11BS414)

作者简介:周美丽(1981—),女,陕西省渭南市人,华侨大学硕士研究生,主要研究方向为建筑项目管理、建筑结构抗震.

强夯、碎石桩复合地基、换土、振冲、盐化处理及综合处理法等^[4-5]。为满足岩土工程的实际需要,在盐渍土地区建筑工程的设计与施工中,计算盐渍土的抗拉强度与抗剪强度、抗压强度同样重要。土工建筑物的承拉能力较低,但其抗拉特性常常被忽视,相关研究成果也不多见。本文选取洛阳黄土为源土,加入氯化钠配制成氯盐渍土试样,通过自制的单轴抗拉仪,以单轴拉伸试验为主,分析干密度、含盐量、含水率对盐渍土的抗拉强度和拉伸变形的影响。

1 氯盐渍土试样制备

1.1 土样制备

通过对洛阳、靖边、杨凌、延安4地土样的物理性质、化学性质及组成成分的分析,发现洛阳和杨凌土质颗粒级配良好,而洛阳土的蒙脱石类黏土矿物的阳离子交换量较高,利于盐渍土试样配制,故选用洛阳土进行试样制备。具体配制方法为:1)对土样进行2 mm筛选,根据含水率的塑限值,并依据利于土样搅拌及盐分交换吸附的原则,在土中配制一定比例的水;2)按照一定比例称取NaCl盐,研磨,并使之干燥;3)将NaCl盐混入土中,搅拌均匀,放置7 d以上,使之得到最大程度的交换吸附;4)在土样中加入足够的纯水,然后自然风干,使盐分发生较为完全的置换反应;5)对风干后的土样再次研磨,加入一定的纯水,搅拌均匀,得到一定含水率的土样,使土样盐分发生充分交换吸附,通常需放置1个月左右。

1.2 试样尺寸及其制备

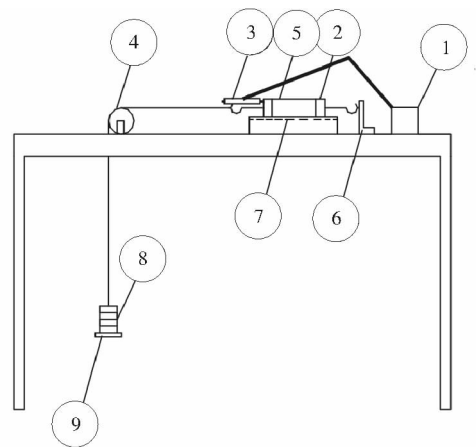
按需要采集洛阳黄土,在试验干密度为 1.60 g/cm^3 和 1.68 g/cm^3 条件下,配制5个不同含水率(9%,12%,15%,18%,21%),6个不同含盐量(素土,2%,6%,8%,10%,14%)的盐渍土样各30个,共60个。试样截面形状有圆形和正方形2种。从理论角度分析,试样的长径比或长宽比对试验结果影响很大,长径(宽)比越大,两端约束影响越小,试验精度越高,但制样和安装时的难度也越大。结合土的特点,参照三轴试样的尺寸,将试样的长径(宽)比定为 $2 \sim 2.5$,试样两端的约束长度取 $2.0 \sim 2.5 \text{ cm}$,本次试验采用长 8 cm ,截面面积 12.54 cm^2 (直径为 2 cm)的圆柱形扰动土样。在一定含水率下,采用自制制样装置卧式压样一次压制而成。对

于高含水率试样,采用水膜转移法,这样既可以保证试样的含盐量不变,又可避免土样形成大的团粒结构,从而影响抗拉强度。将制备好的试样用保鲜膜包裹,并放置在密封的玻璃缸内养护24 h以上,备用。

2 氯盐渍土单轴抗拉强度试验

2.1 试验方案

拉伸试验一般在室内进行,分为两大类:一类是直接测定,也就是单轴、三轴拉伸试验;另一类是间接测定,包括弯曲梁试验,圆柱形试样的径向、轴向挤裂试验等^[6-7]。在间接试验中,试样中的拉应力是通过理论方法结算得出的,因此,它不如直接试验中试样的应力明确^[8]。本试验采用直接测定法,所用仪器为1台自行改制的卧式单轴抗拉仪。该仪器由拉伸系统和测力系统组成,可以很好地测量试样在拉伸过程中和断裂时的应力和应变,仪器结构示意图如图1所示。



1. 磁性支架 2. 端板 3. 百分表 4. 滑轮 5. 土样
6. 固定端 7. 光滑玻璃板 8. 砝码 9. 加荷盘

图1 卧式单轴抗拉试验装置

单轴拉伸试验是无侧向受力的轴向拉长试验,可通过单轴拉伸仪、经改装的三轴拉伸仪完成,其特点是操作简单、容易控制,试验人员不需要有很高的专业知识,缺点是试样不易安装。

2.2 试验操作

试验具体操作如下:将试样的两端分别与端板(传力板)用黏合剂依次胶结后,用保鲜膜包住以防止试验过程中水分损失。将养护好的试样放在光滑玻璃板上(为了减小玻璃板与支座间的摩擦,在玻璃板底面涂抹润滑剂并在支座上放置滚珠),将一

端刚性连接在装置的固定端,另一端用钩拉装置通过滑轮挂上已平衡的加荷盘.安装百分表,并调0.进行试验时,确定加荷等级,而后逐级施加荷载,测记轴向变形、荷载重及各级加荷时间,直至试样断裂,停止试验.拆除钩拉装置和加荷盘,取下试样,打平端板,测定试样断裂处的含水率.

在整个试验过程中,加荷等级按照预估的抗拉强度分级加荷,加荷过程分为3个阶段:前期加荷等级约为预计破坏荷载的1/5,一般为1~2级;中期加荷等级约为预计破坏荷载的1/10,一般为4~5级;后期加荷等级约为预计破坏荷载的1/15,控制不少于3级.加荷稳定标准轴向变形不超过0.02 mm/10 min.破坏荷载为最后一级荷载的1/2与除最后一级荷载外的累积荷载之和.处理试验结果时,对于拉应变计算,以试验开始时受拉区的长度作为试样高度,并以此高度按式①进行应变计算,即

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta_l}{l_0} \times 100 \quad (1)$$

式中, ε_a 为轴向拉伸变形率/%, Δ_l 为试样拉伸变形量/cm, l_0 为试样初始长度/cm.

对于拉应力计算,试样破坏时的轴向拉应力计算公式为

$$\sigma_t = \frac{T}{A_0} \times 100$$

式中, σ_t 为轴向拉应力/kPa, A_0 为试样校正后的面积/cm², T 为轴向拉力/N.

3 试验结果

以干密度1.68 g/cm³的土样为例,不同含水率和含盐量下氯盐渍土单轴抗拉试验结果见表1.通过对单轴抗拉试验全过程的观察,发现盐渍土的单

轴拉裂破坏为脆性破坏,具有突然性,破坏面沿主应力面发生,基本垂直于加荷轴,试样断裂面在距离端部约为样高的1/3处.即使在高含水率下,试样也没有颈缩现象,变形只沿加荷轴方向发生,无侧向变形.

4 分析与讨论

4.1 干密度对抗拉强度的影响

图2所示为不同干密度对氯盐渍土试样抗拉强度的影响.从图2可以看出,干密度对土样的抗拉强度有重要影响,随着干密度的提高,土体抗拉强度显著提高,但在不同含水率条件下,提高幅度变化较大,没有相对统一的变化.

4.2 含盐量对最大拉应力的影响

含盐量直接影响着氯盐渍土的抗拉特性,相同含水率下,含盐量与试件最大拉应力的关系曲线见图3.图3b)中,由于干密度较小,含水率过高,故含盐量为10%和14%的试样未测得抗拉强度有效值.当含水率 $\leq 15\%$ 时,试样最大拉应力随着含盐量的增加,先减小,后增大,曲线拐点为8%;当含水率 $> 15\%$ 时,试样最大拉应力随着含盐量的增加而逐渐减小;当含水率继续增加至21%时,随着含盐量的变化,试样最大拉应力变化幅度不大.

在相同含水率下,影响抗拉强度的主要因素是土中结晶盐、双电层厚度、水化膜厚度等.含水率 $\leq 15\%$,试样的饱和度较低,土体内的结晶盐含量随含盐量的增加而增大.含盐量 $< 8\%$ 时,随着含盐量的增大,钠离子和土粒周围结合水膜的润滑作用为主要作用,双电层厚度增大,颗粒之间距离增大,颗粒对重叠区的引力减小,土体黏性降低,结晶盐的作用相对很小,土粒之间容易产生滑动,土样抗拉强度

表1 氯盐渍土单轴抗拉试验结果(干密度 $\rho = 1.68 \text{ g/cm}^3$)

含盐量/%	含水率									
	9%		12%		15%		18%		21%	
	σ_{\max}/kPa	$\varepsilon_{\max}/\%$	σ_{\max}/kPa	$\varepsilon_{\max}/\%$	σ_{\max}/kPa	$\varepsilon_{\max}/\%$	σ_{\max}/kPa	$\varepsilon_{\max}/\%$	σ_{\max}/kPa	$\varepsilon_{\max}/\%$
0	124.2	0.089	109.3	0.120	78.3	0.152	36.5	0.183	9.8	0.204
2	80.7	0.146	71.5	0.167	57.0	0.175	30.7	0.196	7.4	0.224
6	68.2	0.155	37.7	0.192	25.1	0.225	19.2	0.272	5.9	0.328
8	59.8	0.149	28.3	0.202	14.9	0.249	11.0	0.287	5.0	0.329
10	64.6	0.134	31.9	0.200	16.7	0.228	10.9	0.291	5.3	0.342
14	74.8	0.120	34.3	0.157	30.02	0.191	9.6	0.296	4.7	0.346

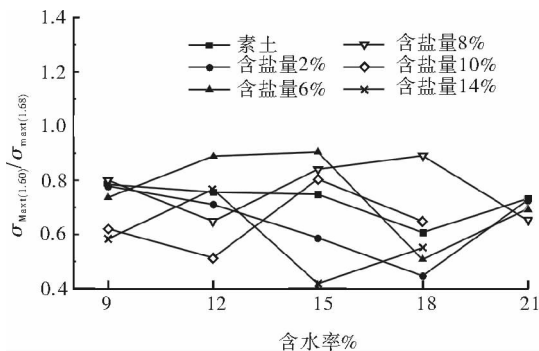
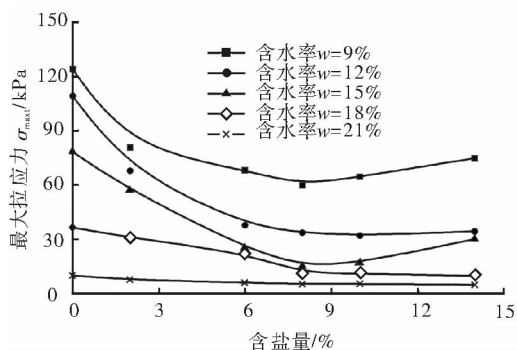
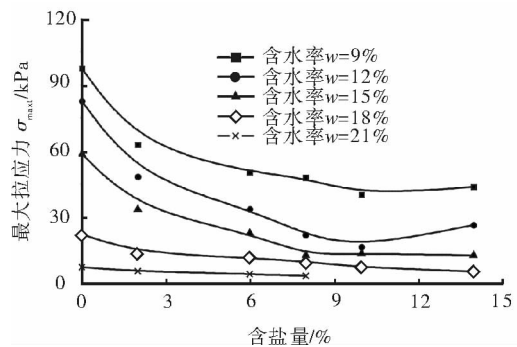


图2 干密度对土样抗拉强度的影响



a) 干密度 \$\rho = 1.68 g/cm^3\$



b) 干密度 \$\rho = 1.60 g/cm^3\$

图3 最大拉应力与含盐量的关系曲线

随含盐量的增大而降低;当含盐量 = 8% 时, 土体中的钠离子含量增大, 双电层的作用达到最大, 所以土体的抗拉强度最小; 在含盐量 > 8% 时, 结晶盐的含量增大, 使得颗粒之间的胶结作用加强, 足以抵消润滑作用, 所以土体的抗拉强度随含盐量的增加而增大. 在含水率 > 15% 时, 土体的饱和度增大, 结晶盐的含量减小, 胶结作用降低, 随着含盐量的增大, 土体中的钠离子含量增加, 土体整体主要表现为水化膜和钠离子的润滑作用, 所以随着含盐量增加, 抗拉强度减小, 特别在含水率 = 21% 时, 土体接

近饱和, 胶结作用基本丧失, 含盐量对土体抗拉强度的影响并不明显.

4.3 含盐量对最大拉应变的影响

含盐量与破坏拉应变的关系曲线见图 4. 图 4 显示, 当含水率 < 15% 时, 试样最大拉应变随着含盐量的增加, 先增大, 后减小, 曲线拐点为含盐量 = 8% 时的对应点; 当含水率 > 15% 时, 试样最大拉应变随着含盐量的增加而增加, 但在含盐量 > 8% 时, 曲线斜率降低, 接近水平, 拉应变变化幅度较小.

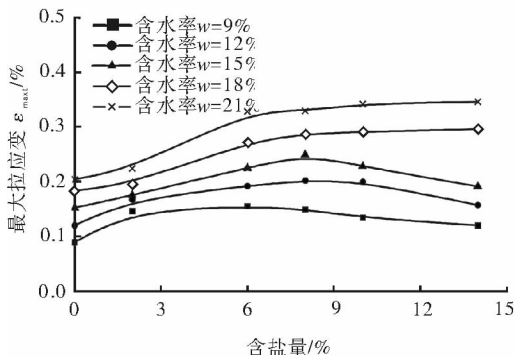
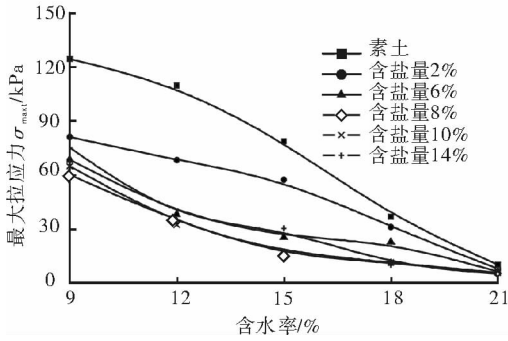


图4 最大拉应变与含盐量的关系曲线 (干密度 \$\rho = 1.68 g/cm^3\$)

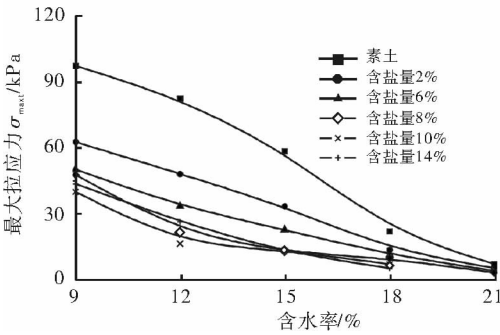
4.4 含水率对最大拉应力的影响

在相同含盐量的条件下, 含水率对土样最大拉应力的影响见图 5. 从图 5 可以看出, 相同含盐量下, 随着含水率的增加, 破坏拉应力减小. 含盐量为 0% 和 2% 时, 曲线的开口向下, 呈凸型, 但含盐量 > 2% 时, 曲线的开口向上, 呈凹型. 含盐量 \$\le 2\%\$, 含水率对破坏应力的影响主要在含水率 15% 以下; 而含盐量 > 2% 时, 含水率对最大应力的影响主要在含水率 15% 以上, 含水率从 9% 增大到 15%, 强度损失超过 1/2. 这是由于在含盐量较低时, 含水率对破坏拉应力的影响主要表现为水分对强度的弱化; 而在含盐量较大时, 胶结作用比较明显, 低含水率时胶结作用能很快降低, 并且介质中的离子数量增大, 所以前期影响较大.

为了进一步分析含水率对破坏拉应力的影响, 对破坏拉应力取自然对数, 研究了其与含水率的关系 (见图 6), 并进行了回归分析. 分析结果显示, 各回归方程的相关系数分别为 0.825 7, 0.796 5, 0.945 7, 0.982 6, 0.962 1 和 0.992 5. 从回归结果可知, 含盐量 \$\le 2\%\$ 时, 相关性较差, 而含盐量 > 2% 时, 相关性较好, 这与含水率对最大应力的影响趋势相同. 在较低且相同的含水率下, 回归方程的截距与含



a) 干密度 $\rho = 1.68 \text{ g/cm}^3$



b) 干密度 $\rho = 1.60 \text{ g/cm}^3$

图5 最大拉应力与含水率的关系曲线

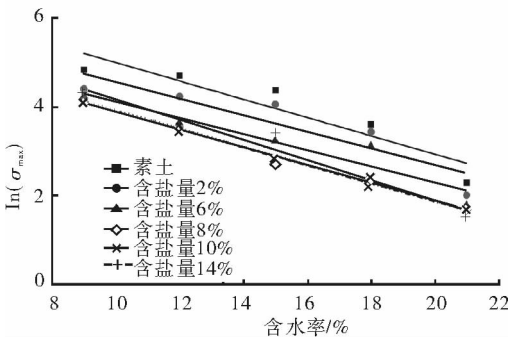


图6 $\ln(\sigma_{\max})-w$ 关系曲线

(干密度 $\rho = 1.68 \text{ g/cm}^3$)

盐量对抗拉强度的影响趋势相同,即随着含盐量的增大,先增大后减小.但总体上,土体的抗拉强度与含水率的关系基本符合指数函数,这与现有理论吻合^[9].

4.5 含水率对最大拉应变的影响

在相同含盐量下,含水率与最大拉应变的关系曲线见图7.含水率对最大拉应变的影响是通过分别对弹、塑性拉伸变形影响实现的.由图7可知,总体上,在相同含盐量下,随着含水率的增加,最大拉应变增大.含水率对破坏拉应变的影响幅度随着含

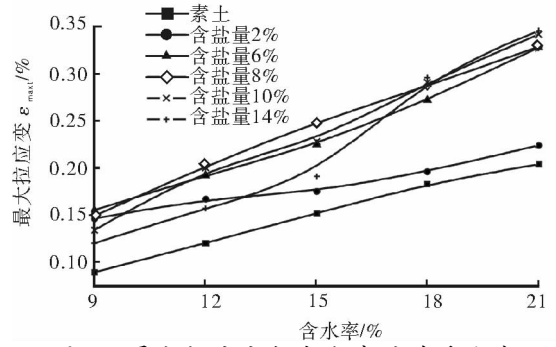


图7 最大拉应变与含水率的关系曲线

(干密度 $\rho = 1.68 \text{ g/cm}^3$)

盐量的增加而增大.相同含盐量下,随着含水率的增加,结晶盐含量越小,土体强度越低,塑性变形越大,因此,随着含水率的增加,最大拉应变增大.在含盐量 $\leq 2\%$ 时,含水率对破坏拉应变的影响曲线形式基本相同,曲线曲率较小,这是由于结晶盐的胶结作用较小,主要以土粒自身的黏结作用为主;而在含盐量 $> 2\%$ 时,曲线曲率较大,因为结晶盐含量较大,胶结作用增强,对土体的抗拉强度贡献相对较大,随着含水率的增大,胶结作用很快降低,所以从曲线增长速率可以看出,含水率 $< 15\%$ 时,增长较慢,而以后增长较快,这与含水率对拉应力的影响相符.

5 结论

本文通过对氯盐渍土的抗拉强度特性试验研究,得到了氯盐渍土试件单轴抗拉应力—应变曲线,分析了各因素对氯盐渍土试件单轴抗拉强度及变形的影响,得到了以下主要结论:

1) 随着拉应力的逐渐增大,拉应变也逐渐增大.曲线基本分为2段,前段应力增大比较明显,后段应变增长比较快,但并不符合双曲线形曲线无峰值点的特征,表现为硬化型曲线.

2) 试样抗拉强度随着干密度的增加而增加,但增加幅度与试样含水率和含盐量之间没有明显规律.

3) 在相同含盐量和干密度下,抗拉强度与含水率呈对数关系;在含水率 $\leq 15\%$ 时,最大拉应力随着含盐量的增加,先减小,后增大,最大拉应变随着含盐量的增加,先增大,后减小,拐点为含盐量8%;在含水率 $> 15\%$ 时,随着含盐量增加,抗拉强度减小,破坏拉应变随着含盐量的增加而增加.

(下转第39页)

冷库运行不同时段温度变化过程分析

姜道珠¹, 鲁墨森², 鲁荣³, 刘晓辉⁴

- (1. 山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049;
2. 山东省果树研究所 贮藏加工室, 山东 泰安 271000;
3. 一新保鲜设备厂, 山东 泰安 271000;
4. 天津大学 化工学院, 天津 300073)

摘要:针对冷库运行过程中停机阶段、风机运行阶段、制冷机运行阶段的各点温度变化,采用热镀锌膜铜-康铜热电偶分别测量了3个阶段的库温、果品温度、冷风机进风口和出风口温度及冷风机蒸发器的温度,并对测点的温度场进行了分析.结果表明:果品温度在3个阶段基本恒定在1.8℃;在风机运行阶段蒸发器仍然是冷源;在制冷机运行阶段,蒸发器进出口温差增大,蒸发器温度下降,说明制冷效果良好.

关键词:冷库;温度场;铜-康铜热电偶

中图分类号: TB657.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.007

The analysis of varying temperature at different periods of cold storage

JIANG Dao-zhu¹, LU Mo-sen², LU Rong³, LIU Xiao-hui⁴

- (1. *Inst. of Agr. Eng. and Food Sci., Shandong Univ. of Tech., Zibo 255049, China;*
2. *Storage and Processing Room, Shandong Inst. of Pomology, Tai'an 271000, China;*
3. *Yixin Preservation Equipment Factory, Tai'an 271000, China;*
4. *Inst. of Chem. Eng., Tianjin Univ., Tianjin 300073, China)*

Abstract: In order to study every changing temperature point of stop stage and fan operation stage and chiller operation stage, the hot tin copper-constantan thermocouple was used to measure respectively the storage temperature, fruit product temperature, air cooler inlet and outlet temperature, cooling fan evaporator's temperature. These data were analyzed and the results showed that: fruit product temperature was almost constant at 1.8℃ at three phases. In fan operation stage, evaporator was still cold source. In chiller operation stage, the temperature difference of evaporator import and export increased, and the evaporator temperature dropped, which indicates good cooling effect.

Key words: cold storage; temperature field; copper-constantan thermocouple

收稿日期: 2011-11-16

基金项目: 山东省科学技术发展计划项目(2008CG10009038); 山东省农业科学院创新基金(2007YCX025)

作者简介: 姜道珠(1985—), 男, 江苏省徐州市人, 山东理工大学硕士研究生, 主要研究方向为贮藏加工设施和技术.

通信作者: 鲁墨森(1956—), 男, 山东省滨州市人, 山东省果树研究所研究员, 主要研究方向为贮藏加工设施和技术.

0 引言

冷库是农产品保鲜的主体设施,冷库内的温度是动态变化的,不同设备和不同位置有一定差异,尤其是在冷库运行的不同阶段,各点的温度变化幅度比较大.这些温度变化过程和差异对保鲜贮藏效果有较大影响.许多学者对不同贮藏温度对果品品质的影响进行了大量研究^[1-2],但是对果品温度在贮藏过程中的动态变化及蒸发器在不同运行阶段的温度变化的研究较少.本文将研究冷库在不同运行阶段的不同点的温度动态变化过程,并对测点的温度场进行分析,以期对冷库内的设备换热效果和产品贮藏提供依据.

1 实验设备及原理

以 10 t 装配式保鲜冷库为实验库(由山东省果树研究所贮藏加工室提供),对其运行工况实时监测.实验冷库主要由库内冷风机、库外多效冷凝压缩制冷机组^[3-4]、双温双控装置^[5]以及库体组成.实验库采用双温双控自动控制系统,库温仪表上限设定为 3 ℃,下限设定为 0 ℃;霜温仪表上限设定为 3 ℃,下限设定为 -15 ℃.其控制程序是:在制冷机停止供冷后,库温开始逐渐上升,达到库温仪表上限时,控制电路发生一系列连锁反应,冷风机开始运转.冷风机运转使蒸发器表面的霜冰融化,产生的冷量由冷风机排入冷库中,冷库温度有所下降,蒸发器温度逐渐升高.霜温仪表的霜温传感器同时对蒸发器表面进行检测,达到霜温上限时,制冷机启动并向冷风机供液,库温开始下降;当达到库温仪表下限时,库温仪表控制电路断电,冷风机和制冷机停止运转,然后进入下一个循环.一个冷库运行周期有 3 个阶段,即停机升温阶段、风机运行化霜阶段、制冷机运行供冷降温阶段.冷库设备按此顺序进行制冷循环,保持库内温度在一定范围内恒定.

2 实验系统

2.1 测温系统

实验采用热镀锡膜铜-康铜热电偶测温,它在 ±100 ℃ 范围内工作,其裸测头和小型保护管测头能突出热电偶的高灵敏度.在冷库中央布置 1 组温度测头,即冷库顶部下垂 1 m 左右;选用 2 组热电偶分别布置在冷风机进风口和出风口,以测定进风口

和出风口的气流温度;用 1 组热电偶插入苹果果实内部,来测定苹果温度,测试样品在靠近风机回风口处,装于生理小包装袋内;将 18 组热电偶布置在蒸发器翅片管间不同位置,微型测头紧贴管壁,实时监测蒸发器的温度变化.

2.2 实验数据采集存储系统

利用由 LU-R/C2100 无纸记录仪改制的高灵敏度多通道微伏级数据采集处理器进行数据的采集、存储,通过相关软件将数据转换成温度值,并在计算机上进一步分析处理.

2.3 热电偶热电势信号数据值转换成温度值求解

利用标定的热镀锡膜铜-康铜热电偶采集数据,根据由热电偶并联和固定温度法标定的二次回归数学模型 $y = 0.0304x^2 + 37.194x$,其中 y 为热电偶热电势信号值,即可求解温度值 x ^[6].热电偶参考端为冰水混合 0 ℃ 恒温.

3 结果与分析

3.1 冷库停机阶段

停机阶段各测量点温度变化曲线如图 1 所示.在停机阶段,库温从 -0.8 ℃ 开始逐渐上升至 4.0 ℃ 左右,进风口和出风口温度也逐渐上升至 4.0 ℃ 左右,果品温度比较稳定,维持在 1.8 ℃.蒸发器内外温度场分布如图 2 所示,在停机阶段,蒸发器表面和内部各点的温度比较均匀,最高温度 0.1 ℃,最低温度为 -0.7 ℃,两者相差 0.8 ℃,但都低于库温许多,表明此阶段蒸发器仍然是一个冷

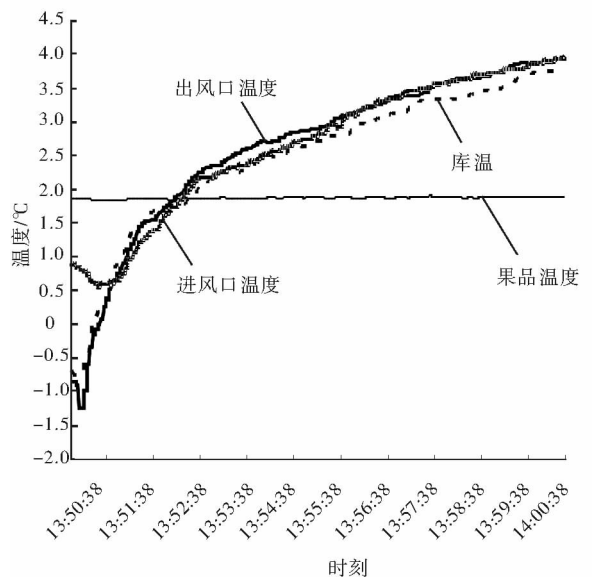
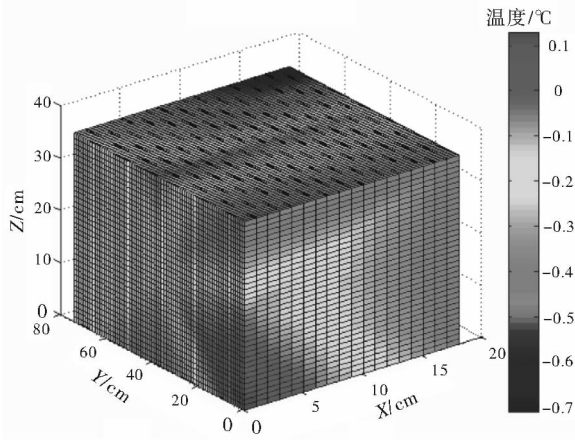
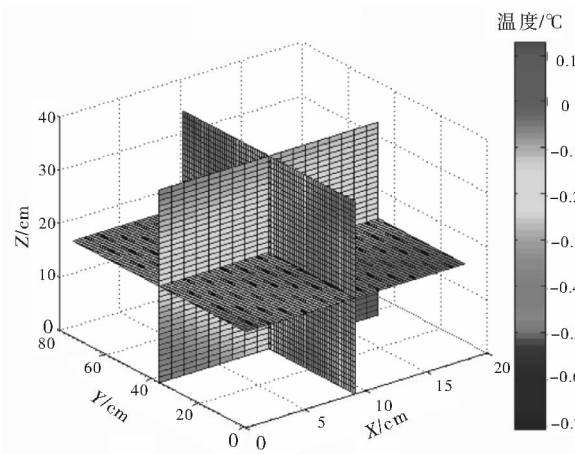


图 1 停机阶段各测量点温度变化曲线



a)外表面温度场分布



b)空间内温度场分布

图2 停机阶段蒸发器内外温度场分布

源,它可以继续向库内供冷.

3.2 风机运行阶段

风机运行阶段各测量点温度变化曲线和蒸发器内外温度场分布如图3和图4所示.蒸发器外部和内部温度与停机阶段相比,温度有所上升,蒸发器最低温度为 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高温度为 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,两者相差 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.这时,由于冷风机运转使蒸发器上霜冰开始融化,蒸发器逐渐升温.同时冷风机又将融霜时的冷量排入冷库中,冷库温度由 $4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 迅速下降至 $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,此时的降温不是由制冷机组供给的,这样既降低了能耗,又保证了蒸发器的无霜运行.在风机运行初始阶段,出风口温度和进风口温度同时迅速下降,两者仍有 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温差.果温稳定在 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,和停机阶段相比变化不明显.随着蒸发器上冰霜融化殆尽,库温、进风口温度和出风口温度开始缓慢升高.

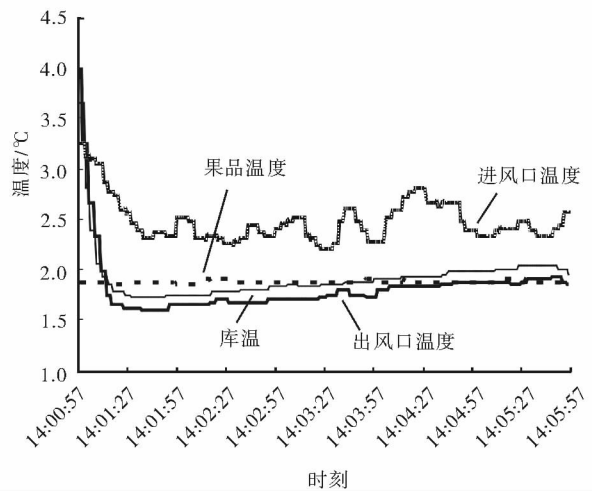
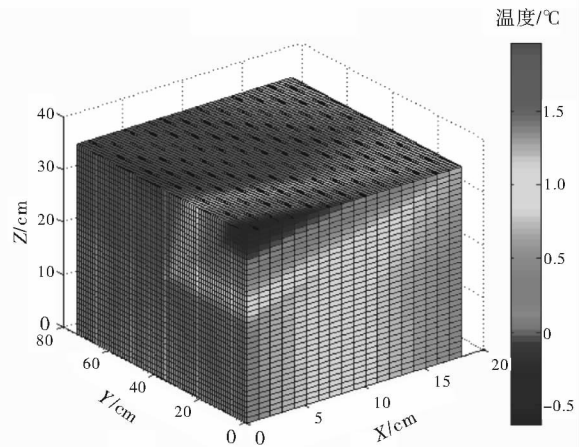
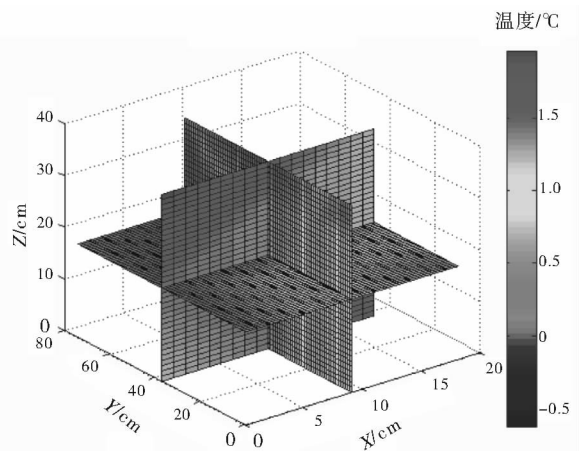


图3 风机运行阶段各测量点温度变化曲线



a)外表面温度场分布



b)空间内温度场分布

图4 风机运行阶段蒸发器内外温度场分布

3.3 制冷机运行阶段

制冷机运行阶段各测量点温度变化曲线和蒸发器内外温度场分布如图5和图6所示.此时制冷机开始运转并向蒸发器供液,蒸发器外部和内部温

度降低,最低温度达到 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高温度为 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$,两者相差 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$,表明蒸发器各部位的换热效果有一定差异.由进风口进入蒸发器的气体,在其翅片间发生热交换,蒸发器排管吸收气体的热量.出风口温度开始由 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下降.与前2个阶段相比,进风口温度和出风口温度相差较大,这在一定程度上可以反映蒸发器换热效果.此时果温仍然保持在 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,波动不大于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,整个循环过程中果温都基本保持恒定,这有利于果品的保鲜贮藏.

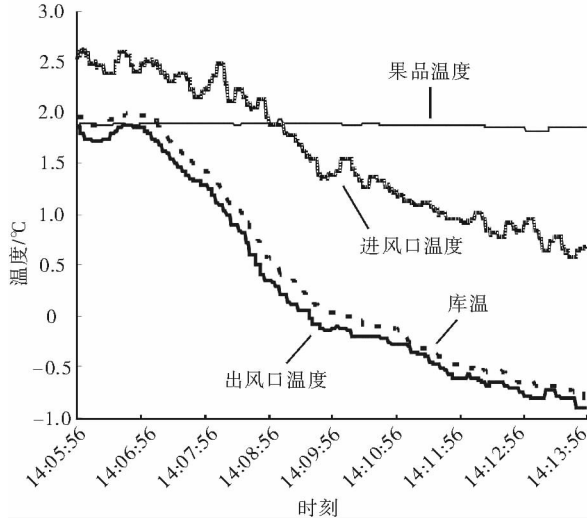


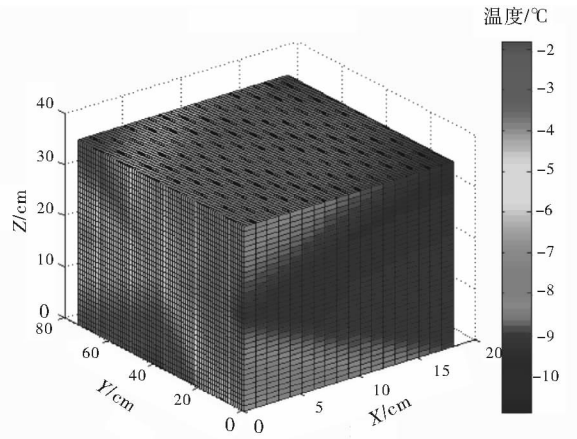
图5 制冷机运行阶段各测量点温度变化曲线

4 结论

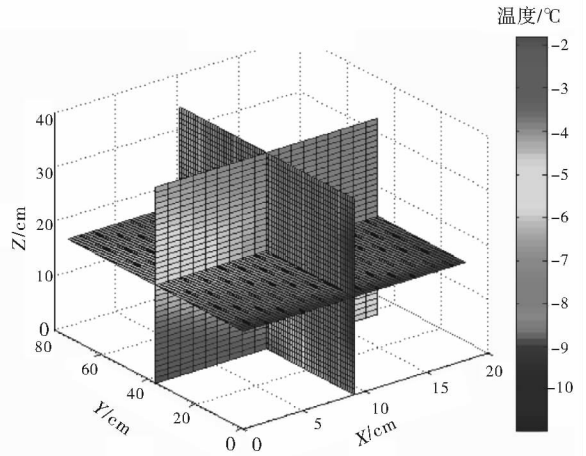
本文采用热镀锡膜铜-康铜热电偶分别测量了冷库运行时3个阶段的库温、果品品温、冷风机进风口和出风口温度及冷风机蒸发器的温度,并对测点的温度场进行了分析,得出如下结论:

1) 停机阶段,出风口温度、进风口温度和库温都逐渐升温,但与蒸发器温度仍有一定差异,表明了停止供液后蒸发器仍是一个冷源. 2) 风机运行阶段,通过通风热交换使蒸发器温度上升,可以有效融霜,另一方面蒸发器冷量通过风机排入冷库中,对保持冷库的无霜运行和节能降耗具有重要意义. 3) 制冷阶段,进风口和出风口温差变大,说明此阶段蒸发器通过供液蒸发吸收热量较快,库温下降速度也较快,在一定程度上反映了蒸发器的蒸发换热效果. 果品温度在3个阶段基本恒定在 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

蒸发器三维温度场是瞬时形成的,以多个时段和不同的蒸发状态研究温度场的变化情况需要进一步深化.冷库温度在一定范围内变化时,果品温度



a)外表面温度场分布



b)空间内温度场分布

图6 制冷机运行阶段蒸发器内外温度场分布

比较稳定但温度偏高,这与实验样品位置和包装形式有关,需进一步探讨.

参考文献:

- [1] 鲁墨森. 挂机式自动冷库的研制和应用效果[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 75.
- [2] 康三江. 浅议国内外冷库行业发展现状与趋势[J]. 保鲜与加工, 2006, 6(3): 1.
- [3] 鲁墨森, 刘晓辉, 鲁荣. 多效冷凝制冷机组的研制及其在中小型冷库上的应用[J]. 落叶果树, 2009, 41(6): 36.
- [4] 刘晓辉, 鲁墨森, 王淑贞, 等. 小型冷库多效冷凝制冷机组的能耗和节能分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 103.
- [5] 鲁墨森, 王淑贞, 杨娟侠, 等. 一种冷库双温双控装置: 中国, CN101050912[P]. 2007-10-10.
- [6] 刘晓辉, 鲁墨森. 铜-康铜热电偶的热镀锡膜工艺和测温特性分析[J]. 计量与测试技术, 2009, 36(11): 3.

基于矢功率谱和 D-S 证据理论 分层融合的旋转机械故障诊断方法

杨春燕, 吴超, 李宏伟

(郑州轻工业学院 机电工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:提出基于矢功率谱和 D-S 证据理论分层融合的旋转机械故障诊断方法,该方法把转子的 2 个截面信息分别以矢功率谱进行数据层融合,提取矢功率谱的特征输入到径向基概率神经网络分类器进行故障识别,最后把两截面诊断结果输入 D-S 证据理论融合中心进行决策层融合. 实验结果表明,该方法可降低故障诊断的不确定性,并提高故障决策准确率.

关键词:旋转机械故障诊断;矢功率谱;D-S 证据理论;数据融合

中图分类号:TH165.3 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.008

A rotating machinery fault diagnosis method based on fusing vector power spectrum and D-S evidence theory

YANG Chun-yan, WU Chao, LI Hong-wei

(College of Electr. and Mech. Eng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A rotating machinery fault diagnosis method based on fusing vector power spectrum and D-S evidence theory was presented. The method was that two-section information was fused respectively in data layer by vector power spectrum, and then the characteristics which were extracted from the vector power spectrum were input to the basis probabilistic neural network classifier for fault identification, and finally, the two-section diagnosis results were entered into D-S evidence theory for decision level fusion. The experiment results showed that the method reduces the diagnostic uncertainty and had high correct recognition rate.

Key words: rotating machinery fault diagnosis; vector power spectrum; D-S evidence theory; data fusion

0 引言

压缩机、汽轮机、燃气轮机、电机、风机、水泵等旋转机械是许多企业的关键设备,其运行状态直接影响企业的生产情况,因而对旋转机械故障的准确诊断非常重要. 随着旋转机械故障诊断技术的发

展,全矢谱^[1]分析作为一种数据层融合技术,以其提供数据源的完整性和无冗余性,在旋转机械故障诊断领域获得越来越广泛的应用. 在全矢谱理论上发展起来的如矢功率谱^[2]、矢 Wigner 分布^[3]等也在故障诊断领域获得应用. 然而,不管是全矢谱还是矢功率谱,作为特征向量提取出来进行故障诊

收稿日期:2012-03-14

基金项目:河南省科技攻关计划项目(122102210122)

作者简介:杨春燕(1975—),女,河南省太康县人,郑州轻工业学院讲师,主要研究方向为智能故障诊断及数据融合.

断时,只是利用转子某一个截面的信息,而转子的空间振动情况并不是单一截面的信息就能够正确反映的,特别是当传感器安装位置不恰当时(例如节点位置附近),就更不能简单地把截面振动等同于转子的振动了.在决策层融合方面,D-S 证据理论已成功应用于模式识别和故障诊断,其最大优势是可以综合利用各个传感器提供的信息,提高判别的准确性和可信度^[4].基于此,本文提出基于矢功率谱和 D-S 证据理论分层融合的旋转机械故障诊断方法,并以转子不对中、转子裂纹和油膜涡动 3 种常见故障为例,对该方法进行验证.

1 诊断模型结构

图 1 所示诊断结构的设计思想是利用转子 2 个截面的信息,在每个截面分别安装水平、垂直传感器,传感器测试的转子截面振动同源信号首先在数据层融合,再进入径向基概率神经网络(RBPNN)进行特征和决策层次上的融合,最后各个单子网络的决策结果进入 D-S 证据理论融合中心得出诊断结论.利用数据层融合效果较好,可以在很大程度上接近原始数据,保持数据的真实性和信息源的完整性.随后数据层融合数据进入径向基概率神经网络进行特征提取,然后进入单子神经网络得出各子网络的决策结果,最大限度提高确诊率.

2 诊断模型结构中各融合层的实现

2.1 矢功率谱

将全矢谱分析技术拓展到功率谱中,可得到一种新的基于矢量振动信号的功率谱分析方法,称为矢功率谱分析法.矢功率谱的数值计算方法因能量定义的不同而不同,较常用的是基于回转能量法.回转能量法考虑了不同长径比对能量的影响,能更好地反应转子回转的客观事实,对故障更敏感.矢功率谱在继承传统功率谱物理意义的基础上,融合转子某一截面的双通道信息,与功率谱相比,可以更全面、准确地反映振动信号的频谱结构.另外,由于矢功率谱是幅值的平方,所以较全矢功率谱反映的频率结构更为明显.实际应用中常采用对数功率谱.

2.2 径向基概率神经网络(RBPNN)

RBPNN 是在径向基函数神经网络(RBFNN)和概率神经网络(PNN)的基础上发展起来的.它具有

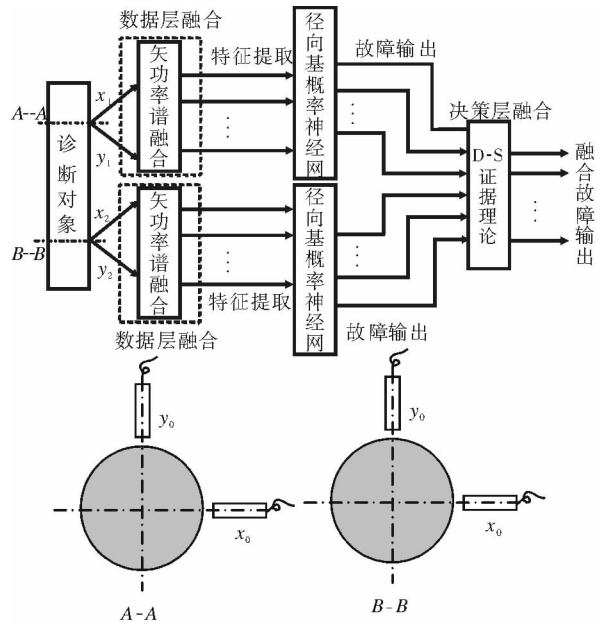


图 1 诊断模型结构

与 RBFNN 相近的测试精度,但远比 RBFNN 的训练时间短;与 PNN 相比,RBPNN 具有收敛速度快、测试精度高等优点.

RBPNN 的网络结构包括 4 层:第 1 层为输入层,最后 1 层为输出层,中间 2 层为隐层.其中,第 1 隐层是非线性处理层,它实现输入的非线性变换和输入样本的非线性划分;第 2 隐层对第 1 隐层的输出进行有选择性的求和与聚类^[5].

2.3 D-S 证据理论

D-S 证据理论于 1960 年代由 Dempster 首次提出,Shafer 将其进一步系统化、理论化,最终形成了不确定推理理论^[6].

在命题 A 的一个识别框架 θ 中,有集函数 $m:2^\theta \rightarrow [0,1]$ 满足

$$\begin{cases} \sum_{A \subseteq \theta} m(A) = 1 \\ m(\phi) = 0 \end{cases}$$

则称 $m(A)$ 为 A 在框架 θ 上的 mass 函数,也称基本概率分配(BPA),表示对 A 的精确信任程度.

若 $A \subseteq \theta$ 且 $m(A) > 0$,则称 A 为焦元,焦元分别为 A_1, A_2, \dots, A_k 和 B_1, B_2, \dots, B_n . 设 m_1, m_2, \dots, m_n 是同一识别框架 θ 上的基本可信度分配,则合成后的 mass 函数 $m:2^\theta \rightarrow [0,1]$ 可表示为

$$m(A) = \sum_{A \cap B_j = A} [m_1(A_i) m_2(B_j) 1(1 - K)]$$

其中,反映证据冲突程度的不确定因子

$$K = \sum_{A \cap B_j = \phi} m_1(A_i) m_2(B_j)$$

3 实验研究

为了验证文中提出诊断模型对旋转机械故障诊断的有效性,以转子系统常见的转子不对中(F_1)、转子裂纹(F_2)和油膜涡动(F_3)3种故障为例,对该方法进行验证.实验在Bently转子实验台进行,每种故障下对转子2个截面4个通道同步采集多组样本数据,每个截面分别选取22组数据,其中20组作为学习样本,另外2组作为测试样本.每组数据中,提取其矢功率谱 $f/4, f/2, f, 2f, 3f, 4f, 5f, 6f$ 倍频上的值作为RBPNN的输入, f 为系统的基频,所以RBPNN输入节点为8个;根据设定的3种故障,神经网络输出有3种模式.第1隐层节点数60个,为训练样本总数;第2隐层节点数3个,与输出节点相同.诊断结果见表1—表3.

表1 转子不对中故障数据源单截面及融合结果对比

数据源	$m(F_1)$	$m(F_2)$	$m(F_3)$	诊断故障	实际故障
A-A	0.573 6	0.415 8	0.0137 7	F_1	F_1
B-B	0.576 2	0.415 6	0.096 75	F_1	F_1
融合	0.655 0	0.342 4	0.024 64	F_1	F_1

表2 转子裂纹故障数据源单截面及融合结果对比

数据源	$m(F_1)$	$m(F_2)$	$m(F_3)$	诊断故障	实际故障
A-A	0.432 1	0.498 9	0.067 59	不确定	F_2
B-B	0.436 8	0.508 8	0.050 15	F_1	F_2
融合	0.4232 1	0.569 2	0.076 00	F_2	F_2

表3 油膜涡动故障数据源单截面及融合结果对比

数据源	$m(F_1)$	$m(F_2)$	$m(F_3)$	诊断故障	实际故障
A-A	0.256 60	0.043 95	0.741 5	F_3	F_3
B-B	0.207 60	0.189 5	0.790 6	F_3	F_3
融合	0.082 23	0.012 86	0.904 9	F_3	F_3

由表1可知,实际故障为转子不对中,单截面A-A信度函数值为0.573 6,单截面B-B信度函数值为0.576 2,而融合之后信度函数值为0.655 0,可

见融合之后诊断为转子不对中的故障可信度明显提高.表2的实际故障为转子裂纹,单截面A-A信度函数值为0.498 9,由于该数值小于程序设定值0.5,所以不能确定是什么故障,诊断结果是不确定;单截面B-B信度函数值为0.508 8,诊断结果是转子不对中,而融合之后信度函数值为0.569 2,诊断故障为转子裂纹,与实际故障一致.因此,如果只用一个截面的故障信息源信度函数分配来识别故障,可能会出现无法识别的情况,有些虽然能识别出故障但是可信度偏低,而将两截面信息融合之后可有效提高识别故障类型的准确性和可信度.从表3也同样可以看出融合之后故障信度函数值有很大提高.

4 结论

本文将矢功率谱分析与D-S证据理论相结合,提出了一种分层融合的旋转机械故障诊断方法,并以旋转机械中常见的转子不对中、转子裂纹和油膜涡动3种故障为例,对该方法进行了验证.实验结果表明,该方法可以充分利用数据融合信息,提高决策准确率,降低诊断的不确定性是现实可行的.

参考文献:

- [1] 陈先利,韩捷.全矢力谱及其在旋转机械故障诊断中的应用研究[J].机床与液压,2008,36(4):202.
- [2] 李志农,韩捷.机械故障诊断矢功率谱-支持向量机识别方法研究[J].计算机工程与应用,2007,43(8):214.
- [3] 周宇,韩捷,李志农.基于矢Wigner分布的旋转机械故障诊断方法的研究[J].矿山机械,2007(4):102.
- [4] 吴胜强,姜万录.基于证据理论多源多特征融合的柱塞泵故障诊断方法[J].中国工程机械学报,2011,9(1):98.
- [5] 杨春燕,丁静.基于全矢谱和径向基概率神经网络的旋转机械故障诊断方法研究[J].现代制造工程,2010(1):141.
- [6] 温照森.模式识别与状态监控[M].北京:科学出版社,2007.

配管长度及分歧管间距对 多联式空调性能的影响

李正帅¹, 郭占军², 王兆强³

- (1. 郑州市热力总公司, 河南 郑州 450015;
2. 华北水利水电学院 环境与市政工程学院, 河南 郑州 450011;
3. 南阳市房产测绘队, 河南 南阳 473000)

摘要:通过实验的方法,研究了变负荷工况下配管长度与分歧管间距对多联式空调系统的能效比(*EER*)及冷量不平衡率的影响.结果表明,配管长度过长造成*EER*下降和冷量衰减,影响室内机的放冷量,配管长度不应超过162 m;随着分歧管间距增加,系统的*EER*及制冷量不平衡率急剧下降,同时分歧管间距对系统性能的影响远大于配管长度.

关键词:多联式空调系统;能效比;配管长度;分歧管间距

中图分类号:TK124 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.009

The influence of pipe length and pipe-connector spacing on performance in multi-connected air-condition system

LI Zheng-shuai¹, GUO Zhan-jun², WANG Zhao-qiang³

- (1. Zhengzhou Heating Co., Zhengzhou 450015, China;
2. School of Envi. & Municipal Eng., North China Univ. of Water Conser. and Electr. Power, Zhengzhou 450011, China;
3. Real Estate Surveying and Mapping Team of Nanyang, Nanyang 473000, China)

Abstract: Through a testing, the influence of different cooling load on *EER* and unbalance rate of refrigerating capacity in multi-connected air-condition system was studied. Influence of pipe length and pipe-connector spacing on performance of the unit was researched based on different cooling load. The results showed that the *EER* and refrigerating capacity was decreasing as the pipe length increased to 162 m and pipe-connector spacing increased; the influence of pipe-connector spacing on performance of multi-connected air-condition system was much larger than pipe length.

Key words: multi-connected air-condition system; energy efficiency ratio; pipe length; pipe-connector spacing

0 引言

对空调房间进行制冷或采暖,因其具有管理控制方便、温度控制精确、节能等优点在高层建筑中得到了广泛应用.但是,多联式空调配管长度、室内机和

多联式空调实现了1台室外机配置多台室内机

收稿日期:2012-01-06

基金项目:河南省教育厅科学技术研究项目(2011B120006)

作者简介:李正帅(1983—),男,河南省杞县人,郑州市热力总公司助理工程师,主要研究方向为制冷设备控制.

室外机高度差及连接管路过长可能带来系统冷量衰减及能效比(EER)降低,从而影响制冷和采暖效果.因此有些学者针对多联式空调作用域和配管长度等因素对冷量衰减、能效比及部分负荷率进行了相关研究^[1-4].有些学者采用模拟软件分析研究了多联式空调的部分负荷特性,应用相关数学模型,通过软件模拟了部分负荷工况对多联式空调性能的影响,取得相关的科研成果^[5-7].已有研究成果表明不同部分负荷的组合对 IPLV 的影响只能得出某种情况下的最优组合,不同配管长度和分歧管间距时冷量衰减及能效比降低的规律仍需进一步研究.

本文拟通过实验的方法来研究多联式空调系统在制冷工况下,不同配管长度和分歧管间距时冷量衰减及能效比降低的规律,以期为指导系统作用域的设计、优化设计结构提供参考依据.

1 多联式空调系统的实验装置及测量系统

1.1 实验装置

该系统由 1 台室外机和 7 台室内机组成,室外机型号为 RAS—280FSNQ,额定制冷量 28 kW,为整装一体机;室内机型号为 RPI—56FSNQL,额定制冷量 5.6 kW,为天花板内置风管式.室外机布置在室内机下面,高度差为 2.2 m.具体配管长度见图 1,图中所标长度为各管段长度,其中括号外为管道实际长度,括号内为管道等效总长度.

1.2 测量系统

为了研究多联式空调系统配管长度变化对其系统性能的影响,应根据焓差法确定室内机的冷量,因此需测定室内循环空气温湿度、流量及系统的耗电量.温度测量采用 I 级 T 型铜-康铜热电偶,风速测量采用多通道热球风速仪.实验中所使用的测试仪器如下:温度电压数据采集器,Agilent 34970A;多点风速仪,Model1550 多通道风速仪;多参数通风测试仪,TSI—8386;C14GIY 型累积功率表

和钳形多功能电表.

2 配管长度对系统性能的影响

通过控制室内机来掌控配管的长度,配管长度分别以室内机设计负荷工况下,室外机进风干球温度为 26 °C、室内机回风湿球温度为 20 °C 为宜.该系统的标准配置为 7 台室内机,因此 100% 负荷即为开 7 台室内机.测试时,将室内机风量均设置为高档,室内机控制面板温度设置为 19 °C.多联式空调性能随配管长度的变化规律如图 2 所示.

由图 2 可知,配管长度从 111 m 增加 189.5 m 时,多联式空调的 EER 先是逐渐增大,在配管长度为 162 m 的时候达到最大值 4.68,随后急剧下降;配管长度到实验工况的 189.5 m 的时候,降低至 3.82.同时,随着配管长度的增加,制冷量的变化率急剧下降,配管长度达到 152.9 m 的时候开始缓慢下降,配管长度达到最长的 189.5 m 时,降至最低值 0.94.因此,配管长度超过 162 m 时,多联式空调系统的能效比急剧下降,冷量衰减量也随之下降.可见,配管长度对系统的能效比有较大的影响,即使系统能保证正常的回油,设计时也应考虑系统配管长度增长引起的制冷剂流经管路时压降增大,进而造成室内机蒸发器的蒸发压力降低,冷量衰减增大的情况.

3 分歧管间距对系统性能的影响

分歧管间距不同,也同样会影响系统各机组之间的冷量平衡,使各室内机组制冷量发生变化,造成各房间室内机制冷量与额定工况不相符.因此合理配置分歧管间距,可保证各室内机制冷量尽可能等于额定工况冷量.分歧管间距变化对制冷量不平衡率的影响如图 3 所示.

由图 3 可知,分歧管长度配置从 22 m 至 71.5 m,随着分歧管间距的增大,多联式空调 EER 急剧下降,制冷量不平衡率显著增加. EER 从 4.12

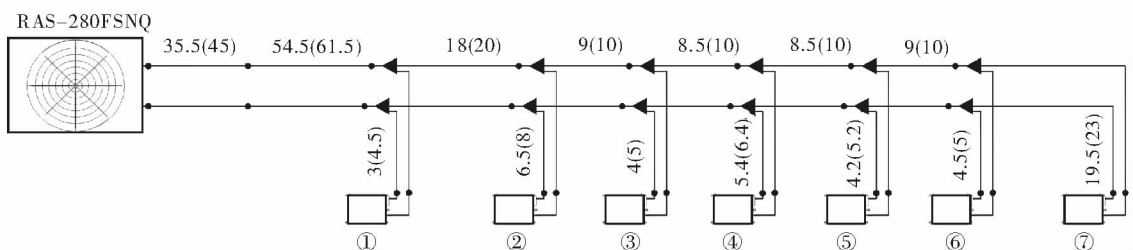


图 1 实验用多联式空调系统配管长度/m

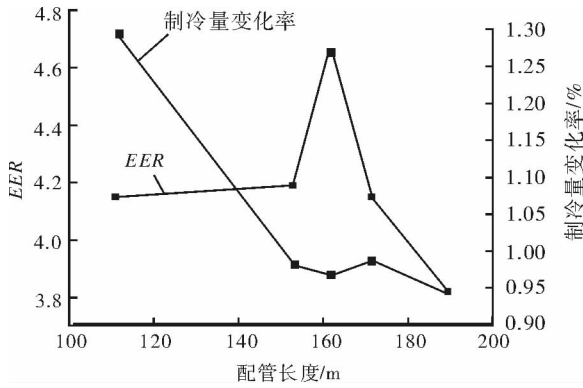


图2 配管长度对多联式空调性能的影响

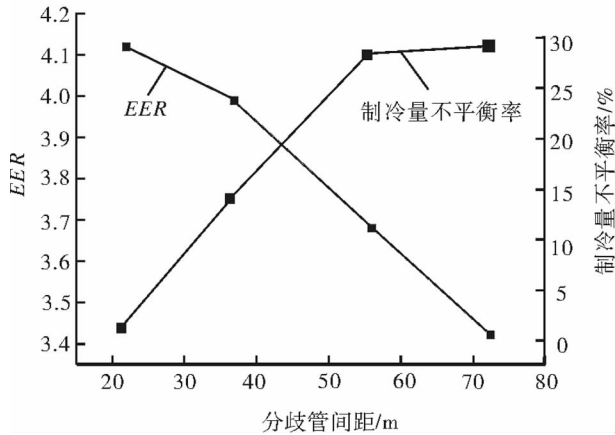


图3 分歧管间距变化对多联式空调性能的影响

降至3.42,而分歧管间距的22 m对应的制冷量不平衡率1.3%则增加至71.5 m对应的29%。结果表明,室内机分歧管间距对系统制冷剂压降的影响大于配管长度,造成了蒸发压力降低程度大于配管长度的影响,因此分歧管间距对多联式空调EER及制冷量不平衡率的影响大于配管长度的影响。

4 结论

配管长度及分歧管间距对多联式空调系统的

EER及制冷量不平衡率均有较大影响,通过对2个影响因素的研究,得到以下结论:

1)应合理设计配管长度,避免配管长度过长造成冷量衰减,影响室内机的制冷量,配管长度不应超过162 m。

2)随着分歧管间距增加,系统的EER及不平衡率急剧下降,同时其对系统性能的影响远大于配管长度。

参考文献:

- [1] Shao S Q, Shi W X, Li X T, et al. Simulation model for complex refrigeration systems based on two-phase fluid network (I): Model development [J]. Int J of Refrigeration, 2008, 31 (3): 490.
- [2] Shi W X, Shao S Q, Li X T, et al. Simulation model for complex refrigeration systems based on two-phase fluid network (II): Model application [J]. Int J of Refrigeration, 2008, 31 (3): 500.
- [3] 石文星, 邵双全, 彦启森. 多联式空调(热泵)系统的作用域[J]. 制冷学报, 2007, 28(2): 8.
- [4] 盛健, 周志刚, 吴兆林, 等. R22和R410A多联式空调机组经济配管长度理论研究[J]. 建筑技术, 2009, 25(10): 76.
- [5] 虞海峰, 周志钢, 吴兆林. 基于Matlab分析负荷对多联式空调IPLV的影响[J]. 低温与超导, 2009(11): 52.
- [6] 黄海滨, 李征涛, 李蒙蒙, 等. VRV机组性能测试室的研制与实验环境研究[J]. 低温与超导, 2010(7): 48.
- [7] 邵双全, 梁楠, 田长青. 多联式空调制冷系统动态仿真研究[J]. 制冷学报, 2011, 32(1): 16.

石斛多糖超高压提取工艺条件的优化

纵伟, 李翠翠

(郑州轻工业学院 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:采用超高压方法提取铁皮石斛中的多糖成分.在单因素实验的基础上,选取压力、时间、粉碎度和固液比(g:mL)4个影响因素,以石斛多糖为指标,通过正交试验优化超高压方法提取石斛多糖的工艺条件.结果表明,将石斛粉碎到80目后,按固液比1:20,采用300 MPa的压力提取6 min后,石斛多糖的得率达到19.27%.这表明超高压方法是一种有效的提取石斛多糖的方法.

关键词:超高压提取;石斛多糖;工艺条件优化

中图分类号:TS201.1 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.010

Technique condition optimization for ultra high pressure extraction of *dendrobium* polysaccharide

ZONG Wei, LI Cui-cui

(College of Food and Bioeng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: *Dendrobium candidum* polysaccharide was extracted by ultra high pressure extraction (UHPE) method. Based on single factor experiments, orthogonal test was used to optimize the extraction conditions. Pressure, holding time, size and ratio of solid to liquid (g: mL) were as 4 factors and the yield of *dendrobium* polysaccharide (DP) was as target. The optimum parameters for extracting DP were as follows: pressure 300 MPa, holding time 6 min, size 80 mesh and ratio of solid to liquid (g: mL) 1: 20. The yield of DP was 19.27%. So UHPE was a suitable method for extraction of DP.

Key words: ultra high pressure (UHP) extraction; *dendrobium* polysaccharide; technique condition optimization

0 引言

石斛(*dendrobium*)属兰科石斛属多年生草本植物,全世界约有1 400种,其中铁皮石斛(*dendrobium candidum* wall ex lindl)是我国常见的石斛品种之一^[1].铁皮石斛具有抗肿瘤、抗氧化、降血糖和降血脂等多种功效^[2-4],现代药理学研究表明,石斛多糖DP(*dendrobium* polysaccharide)是石斛中的主要功能

成分^[5].因此,有效地提取DP对开发利用石斛资源具有重要意义.

目前,多糖一般采用水提取醇沉制备^[6],在提取过程中,为强化多糖的提取,往往采用超声、微波等方法进行辅助提取^[7],但超声、微波等方法提取时间比较长,且提取过程中能量消耗大^[8].超高压UHP(ultra high pressure)提取是近年来一种新的天然产物提取技术,其提取时间短,往往只需要几分

收稿日期:2012-03-25

基金项目:国家自然科学基金项目(20876152)

作者简介:纵伟(1965—),男,安徽省萧县人,郑州轻工业学院教授,博士,主要研究方向为功能食品.

钟,且能量消耗少.本文拟采用超高压方法提取铁皮石斛中的多糖成分,选取压力、保压时间、粉碎度和固液比(g:mL)4个影响因素,进行正交试验,以优化DP超高压提取工艺条件.

1 实验

1.1 材料和设备

材料:铁皮石斛,市售,真空干燥、粉碎后备用;乙醇、苯酚、硫酸等为分析纯,天津科密欧化学试剂有限公司产.

设备:超高压装置(压力0.1~980 MPa),包头科发高压科技有限责任公司产;旋转蒸发器(SBW—1),上海申玻仪器公司产;紫外可见分光光度计(TU1800S),北京普析通用仪器公司产;超声波细胞粉碎机(JY88—II),上海诺顶仪器公司产.

1.2 研究方法

1.2.1 UHP法提取DP 称取10 g石斛,加水混合后装入高压聚乙烯塑料袋,真空包装,放入超高压装置中高压处理.处理后过滤得提取液,滤渣继续提取2次,合并提取液,3 500 r/min离心10 min.上清液真空浓缩,加无水乙醇,调节到乙醇浓度70%,静置4 h,收集沉淀.测定多糖含量,计算多糖得率.

$$\text{多糖得率} = \frac{\text{提取得到的多糖质量/g}}{\text{原料质量/g}} \times 100\%$$

1.2.2 热水法回流提取DP 取石斛10 g,加200 mL水,混合后在60℃下浸提2 h.过滤得提取液,滤渣继续提取2次,每次1 h,合并提取液,3 500 r/min离心10 min.上清液真空浓缩,加无水乙醇,调节到乙醇浓度70%,静置4 h,收集沉淀,得DP.

1.2.3 超声法提取DP 取石斛10 g,加200 mL水,在200 W功率下超声提取20 min,过滤得提取液,滤渣继续提取2次,每次10 min,合并提取液,3 500 r/min离心10 min.上清液真空浓缩,加无水乙醇,调节到乙醇浓度70%,静置4 h,收集沉淀,得DP.

1.2.4 多糖测定 采用苯酚-硫酸法^[9]进行多糖测定.

1.2.5 多糖提取单因素实验 采用UHP法提取石斛多糖,分别考察不同提取压力、保压时间、粉碎度和固液比(g:mL)对石斛多糖得率的影响.

1.2.6 UHP法提取DP的工艺条件优化 根据

UHP法提取DP的单因素实验,选取UHP压力(A)、UHP时间(B)、粉碎度(C)及固液比(D)4因素,以DP得率为指标,采用L₉(3⁴)正交试验,因素与水平的设计见表1.

表1 因素与水平设计表

水平/因素	A/MPa	B/min	C/目	D/(g:mL)
1	250	4	40	1:18
2	300	5	60	1:20
3	350	6	80	1:22

2 结果与分析

2.1 UHP法提取DP的单因素实验

2.1.1 UHP压力对DP得率的影响 将UHP压力设定为0.1 MPa,100 MPa,200 MPa,300 MPa,400 MPa和500 MPa,保压时间5 min,粉碎度60目,固液比(g/mL)为1:20进行提取,提取压力对石斛多糖提取得率的影响见图1.

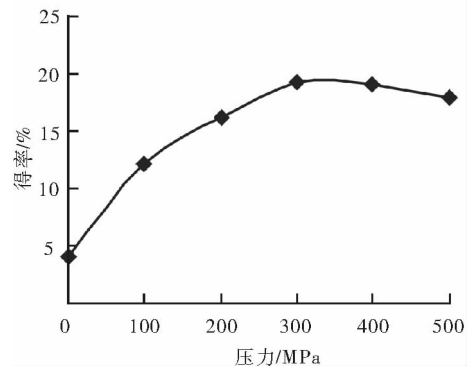


图1 UHP压力对DP得率的影响

由图1可知,当提取压力小于300 MPa时,多糖得率随着提取压力的增加而增加;但当提取压力超过300 MPa时,随着提取压力的增加,多糖得率反而略有下降.因此,适宜提取压力为300 MPa.

2.1.2 UHP时间对DP得率的影响 将UHP压力设定为300 MPa,原料粉碎度设定为60目,在固液比(g/mL)为1:20情况下分别保压不同时间,保压时间对石斛多糖提取得率的影响见图2.

由图2可知,当保压时间小于5 min时,多糖得率随着保压时间的增加而增加;但当保压时间超过5 min时,随着保压时间的增加,多糖得率随保压时间的增加而变化缓慢.因此,适宜保压时间为5 min.

2.1.3 粉碎度对DP得率的影响 将石斛粉碎到不同粉碎度,然后将UHP压力设定为300 MPa,在

固液比(g: mL)为 1: 20 条件下维持 5 min 进行提取, 粉碎度对 DP 得率的影响见图 3.

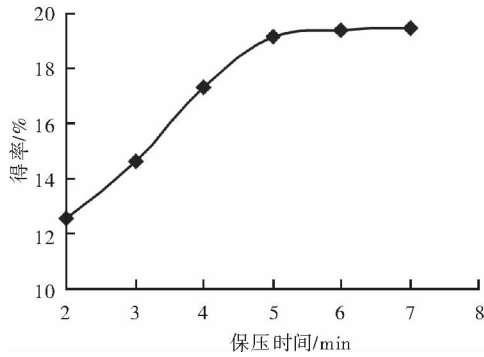


图2 UHP 时间对 DP 得率的影响

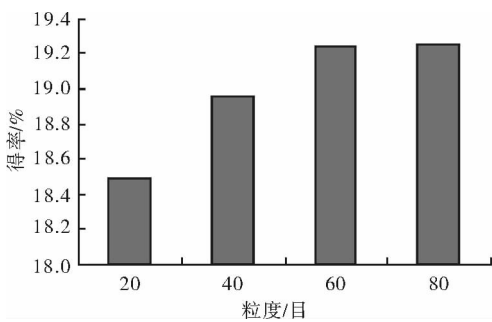


图3 粉碎度对 DP 得率的影响

由图 3 可知, 粉碎度对多糖得率有较大影响, 多糖得率随着粉碎度的增加而增加; 但当颗粒的粒度达到 60 目后, 随着粉碎度的增加, 多糖得率变化缓慢. 这是由于过小的粒度会带来后续分离操作的困难. 因此, 60 目为适宜的粉碎程度.

2.1.4 固液比对 DP 得率的影响 将 UHP 压力设定为 300 MPa, 原料粉碎度设定为 60 目, 分别采用不同固液比 (g: mL) 提取 5 min, 固液比对 DP 得率的影响见图 4.

由图 4 可知, 固液比对多糖得率有较大影响, 当固液比小于 1: 20 时, 多糖得率随着加液体的增加而增加; 但当固液比达到 1: 20 时, 多糖得率随加液量的增加而变化缓慢. 这是由于过多的加液量会造成后续浓缩、沉淀操作的成本增加. 因此, 适宜液固比为 1: 20.

2.2 多糖提取工艺优化

在单因素实验的基础上, 选用 $L_9(3^4)$ 进行正交试验, 对 DP 提取工艺进行优选, 结果见表 2.

对 UHP 法提取 DP 的正交试验结果进行极差分析可以发现, 影响 UHP 法提取 DP 的各因素的次序为 UHP 压力 > 固液比 > UHP 时间 > 粉碎度. 最

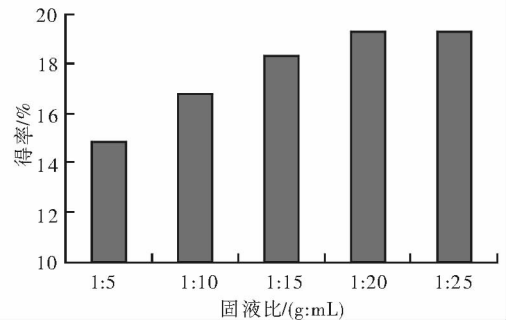


图4 固液比对 DP 得率的影响

表2 正交试验结果

编号	A/MPa	B/min	C/目	D/(g: mL)	得率/%
1	250	4	40	1: 18	17.21
2	250	5	60	1: 20	17.54
3	250	6	80	1: 22	17.95
4	300	4	60	1: 22	18.41
5	300	5	80	1: 18	18.82
6	300	6	40	1: 20	19.25
7	350	4	80	1: 20	19.10
8	350	5	40	1: 22	16.84
9	350	6	60	1: 18	18.68
k_1	17.567	18.240	17.767	18.237	
k_2	18.827	17.733	18.210	18.630	
k_3	18.207	18.627	18.623	17.733	
R	1.260	0.894	0.856	0.897	

佳提取条件为将原料粉碎到 80 目, 按固液比 1: 20 加水, 然后将 UHP 压力设定为 300 MPa, 提取 6 min. 对正交试验结果的方差分析和 F 检验表明 (见表 3), 在影响提取的各因素中, UHP 压力对 DP 得率在所考察的范围内影响显著, 但其他 3 个因素 (固液比、时间和粉碎度) 均 $F/F_{0.05} < 1$, 表明固液比、时间和粉碎度在所考察的范围内对 DP 得率影响均不显著.

在最优条件下, 进行 3 次验证实验, DP 得率平均为 19.27%. 采用石斛 1 kg, 按最优条件进行放大实验, DP 得率达到 19.26%.

2.3 UHP 和其他方法的提取效果比较

分别将石斛采用 UHP 提取、热水法提取和超声法提取, 比较提取得率和提取所用时间, 结果见表 4.

从表 4 可见, UHP 提取和热水法提取的得率都大于超声法提取, 但 UHP 提取的时间远远小于热水法提取. 因此, UHP 方法是一种有效提取多糖的

方法.

表3 UHP法提取DP方差分析

因素	偏差平方和	自由度	$F/F_{0.05}$	显著性
A	2.382	2	1.615	显著
B	1.204	2	0.816	不显著
C	1.101	2	0.747	不显著
D	1.212	2	0.822	不显著
误差	5.90	8		

表4 UHP与其他方法的提取效果比较

方法	得率/%	所用时间/min
UHP	19.27	18
热水法	19.28	240
超声法	18.81	40

3 结论

本文采用超高压方法提取石斛多糖,在单因素实验的基础上采用正交试验优化提取工艺条件. UHP提取DP的优化工艺条件为:将原料粉碎到80目,按固液比1:20加水,然后将UHP压力设定为300 MPa,提取6 min,DP的得率可达到19.27%. 以UHP提取石斛多糖,利用UHP作用,可破坏石斛细胞的细胞壁,促进多糖溶出,具有时间短、节约能

(上接第25页)

4)相同含盐量下,随着含水率的增加,破坏拉应力减小,破坏拉应变增大.

参考文献:

- [1] 张卫国. 盐渍土地区工程质量常见病分析[J]. 科技情报开发与经济,2004,14(1):131.
- [2] 高福聚,俞然刚. 滨海盐渍土地区墙体和饰面侵蚀的防治措施[J]. 工业建筑,2000,30(1):38.
- [3] 李芳,高江平,陈建. 盐渍土盐胀对低层建筑的危害及其防治[J]. 土木工程学报,1999,32(5):46.
- [4] 耿树江. 青海西部盐渍土溶陷灾害对建筑物的影响及治理对策[J]. 中国减灾,1992,2(4):46.

耗等优点,是一种有效的提取石斛多糖的方法.

参考文献:

- [1] 刘莉,萧凤回. 石斛属药用植物多糖研究进展[J]. 现代中药研究与实践,2009,23(1):77.
- [2] 罗傲霜,淳泽,葛绍荣,等. 选鞘石斛多糖降血糖作用研究[J]. 应用与环境生物学报,2006,12(3):334.
- [3] 罗傲雪,宋关斌,淳泽,等. 选鞘石斛抗肿瘤作用研究[J]. 应用与环境生物学报,2007,13(2):184.
- [4] 郝杰,查学强,鲍素华,等. 霍山石斛不同分子量多糖体外抗氧化研究[J]. 食品科学,2009,30(15):94.
- [5] 邓银华,徐康平,谭桂山. 石斛属植物化学成分与药理活性研究进展[J]. 中药材,2002,25(9):677.
- [6] 范益军,何兴金,何涛,等. 正交设计优选金钗石斛多糖提取工艺研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(23):10999.
- [7] 周振鸣,来平凡. 铁皮石斛多糖的超声提取工艺研究[J]. 中外健康文摘,2008,5(5):100.
- [8] Zhang S Q, Zhu J J, Wang C Z. Novel high pressure extraction technology [J]. Int J of Pharmaceutics, 2004, 278:471.
- [9] 钟先锋,黄桂东,邓泽元,等. 荷叶多糖提取工艺的研究[J]. 食品与机械,2007,23(1):87.
- [5] 李伟. 包西铁路盐渍土工程地质性质研究及处理对策[J]. 山西建筑,2009,35(12):92.
- [6] Parry R H, Ajaz G, Discussion A. Behavior of compacted soil in tension [J]. Proc ASCE JGED, 1975, 101 (GT6):129.
- [7] 清华大学水利工程系土石坝抗裂研究小组. 黏性土抗拉特性的测量和对土石坝裂缝的初步研究[J]. 清华大学学报,1973(3):25.
- [8] 李永红. 氯盐渍土的强度和变形特性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [9] 王毅红,王春英,李先顺,等. 生土结构的土料受压及受剪性能试验研究[J]. 西安科技大学学报,2006,26(4):469.

天然淀粉的超高压糊化压力研究

荆晓燕, 杨留枝, 刘延奇

(郑州轻工业学院 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:在悬浮液浓度为5% (w/v), 温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 时, 对8种不同淀粉进行高压处理5 min 使淀粉发生糊化, 采用X射线衍射测试技术得到了各种淀粉完全糊化的压力: 小麦淀粉和木薯淀粉约为500 MPa, 玉米淀粉、荸荠淀粉、糯小麦淀粉和糯米淀粉均为550 MPa, 糯玉米淀粉约为650 MPa, 马铃薯淀粉为750 MPa.

关键词:淀粉糊化; 超高压处理; 糊化压力

中图分类号:TS236 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.011

Study on gelatinization pressure of starch by ultra high pressure processing

JING Xiao-yan, YANG Liu-zhi, LIU Yan-qi

(College of Food and Bioeng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To study the gelatinization pressures of different kinds of starch at atmospheric temperature, eight different starches chosen as raw materials (5% (w/v), at $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$) by different pressure were treated for 5 min, then the relations between pressure and starch gelatinization were analysed by X ray diffraction. Wheat starch and tapioca starch, 500 MPa; corn starch, water chestnut starch, waxy wheat starch and glutinous rice starch, 550 MPa; waxy maize starch, 650 MPa; potato starch, 750 MPa.

Key words: starch gelatinization; ultra high pressure processing; gelatinization pressure

0 引言

在超高压作用下, 淀粉的精细结构和分子结构在水分子的作用下会发生某些变化, 从而导致淀粉性能的改变. 压力对淀粉糊化影响的程度依赖压力、处理时间、温度、水分含量、淀粉结构和淀粉类型^[1-4]. 超高压的表面作用功能导致淀粉发生糊化作用, 且在一定压力范围内, 淀粉糊化过程与淀粉天然结晶结构有一定的相关性. 每一种淀粉都有自己的糊化压力范围, 这与它们的结晶结构有一定的

关系, 如B型淀粉比A型和C型淀粉对高压具有更强的抗性^[3,5]. 水分在高压处理使淀粉糊化的过程中也起着重要的作用, 高压处理下淀粉的糊化需要通过水合作用来实现, 淀粉水悬浮液在一定压力下都能糊化^[6-7]. 除水分含量和淀粉结晶类型外, 压力大小、温度和处理时间都是高压处理的影响因素.

为了比较不同淀粉在超高压下颗粒结构和结晶结构的变化情况, 本文以3类不同的淀粉为原料, 通过对8种淀粉进行超高压处理研究, 确定在一定浓度、温度和处理时间下这些淀粉超高压糊化的压

收稿日期: 2012-04-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(21076201)

作者简介: 荆晓燕(1979—), 女, 黑龙江省绥化县人, 郑州轻工业学院讲师, 主要研究方向为食品加工技术.

通信作者: 刘延奇(1964—), 男, 河南省辉县市人, 郑州轻工业学院教授, 博士, 主要研究方向为大分子改性及应用.

力范围,为不同种类淀粉的充分利用奠定基础。

1 实验

1.1 材料与设备

材料:玉米淀粉,市售,诸城兴贸玉米开发有限公司产;小麦淀粉,河南卫辉市圣达实业有限公司产;木薯淀粉,天津顶峰淀粉技术开发有限公司产;荸荠淀粉,北京恒胜天祥工贸有限公司产;糯玉米淀粉,山西晋利集团产;糯小麦淀粉,中糯2号糯质小麦面粉中制取;糯米淀粉,实验室以糯米为原料制备得到;马铃薯淀粉,市售,定西市宝丰淀粉有限公司产;无水乙醇,AR,洛阳昊华化学试剂有限公司产;聚丙烯薄膜袋,厚0.125 mm。

设备:超高压设备,UHP900X2—Z型,郑州轻工业学院订制产品;X射线衍射仪,BurkerD8型,德国布鲁克公司产;循环水式真空泵,SHC—II2型,郑州长城科工贸有限公司产;真空充气包装机,ZQB420L型,上海人民仪表厂产。

1.2 研究方法

1.2.1 淀粉的超高压处理 准确称取5.0 g不同种类的淀粉,加入到100 mL蒸馏水中,制成浓度约为5% (w/v)的淀粉-水悬浮液,混合均匀后装入聚丙烯薄膜袋中,晶型真空封口包装。为防止实验中高压处理时样品袋破裂,需对样品进行双层封装。

将装袋的样品充分摇匀后,再将样品放入超高压设备中进行处理。高压处理条件为:升压速度约为10 MPa/s,高压舱温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,保压时间5 min。高压处理后的样品经过瞬时卸压,取出样品袋,清洗包装袋表面后,将样品倾倒至容器中,稍微沉淀后倾去上层水分,剩余样品经抽滤、乙醇脱水干燥后,所得样品在空气中晾干并装袋备用。

1.2.2 X射线粉末衍射分析 将上述经过高压处理的样品在相对湿度为100%的容器中恒湿处理7 d。用X射线衍射仪进行测定,测试条件为:射线波长为0.154 2 nm,管压36 kV,管流20 mA,扫描速度 $4^\circ/\text{min}$ 。对 $5^\circ \sim 35^\circ$ 的区域晶型扫描,数据采集步宽为 0.02° ,采用连续扫描的方式进行测试。

2 结果与讨论

淀粉在高压下结晶结构的变化不仅可以用偏光十字的消失来检测,而且也可以用X射线衍射技

术进行检测和衡量。衍射曲线中衍射峰的强度和大小能反映结晶区域的变化和淀粉的糊化程度,应用一定的方法,还可以通过衍射图形计算出淀粉样品结晶度的大小。

2.1 超高压对A型结晶结构淀粉糊化作用的影响

图1为5% (w/v)的玉米淀粉悬浮液经不同高压处理5 min后所得玉米淀粉的X射线衍射图谱。从图1可以看出,经过400 MPa压力处理后,玉米淀粉颗粒样品的衍射强度有较大程度的降低。随着压力的增大,衍射峰逐渐降低至消失,当压力为550 MPa时,衍射峰几乎完全消失。因此,可以大致判断出,在测试条件下,玉米淀粉的糊化压力约为550 MPa。

图2为小麦淀粉分别经不同高压处理5 min后的X射线衍射图谱。从图2可知,400 MPa和500 MPa压力处理后淀粉的衍射图谱中 5.8° 出现微弱衍射峰,这可能是干燥处理前未完全糊化的淀粉产生的回生现象所致;小麦淀粉经过400 MPa压力处理后特征衍射峰强度明显降低,衍射图谱中出现

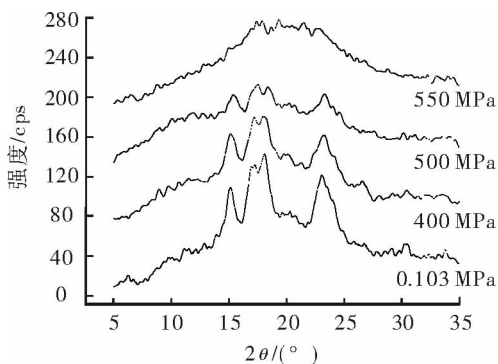


图1 不同高压处理5 min玉米淀粉样品的X射线衍射图

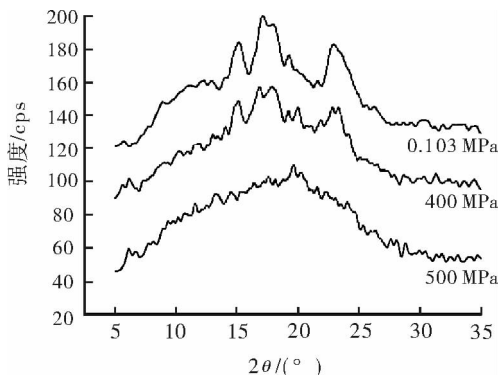


图2 不同高压处理5 min小麦淀粉样品的X射线衍射图

较多的杂峰,是因为小麦淀粉中含有较多的蛋白质分子和其他杂质,超高压作用使淀粉吸水溶胀变得松散,压力消失后淀粉链重新组合,这时溶液中部分蛋白质和脂肪参与到了淀粉的螺旋结构中. 500 MPa压力处理后淀粉的特征衍射峰已经基本消失,可以判定小麦淀粉糊化的起始压力低于 400 MPa,完全糊化的压力为 500 MPa.

图 3 为不同高压处理 5 min 后木薯淀粉的 X 射线衍射图谱. 从图 3 可以看出,400 MPa 和 450 MPa 压力处理后,淀粉的特征衍射峰逐渐减弱,而 500 MPa 压力处理后,各特征衍射峰完全消失,表明在 500 MPa 下木薯淀粉颗粒已经完全糊化. 因此得出木薯淀粉的糊化压力为 500 MPa.

图 4 为荸荠淀粉经不同高压处理 5 min 后的 X 射线衍射图谱. 从图 4 可以看出,400 MPa 和 500 MPa 压力处理后,荸荠淀粉的衍射峰强度变化较小,550 MPa 处理后特征衍射峰已经消失,表明高压对荸荠淀粉结晶结构的影响是一个突变过程. 荸荠淀粉的糊化压力为 550 MPa.

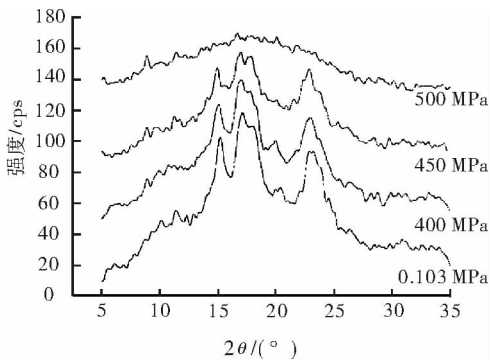


图 3 不同高压处理 5 min 木薯淀粉样品的 X 射线衍射图

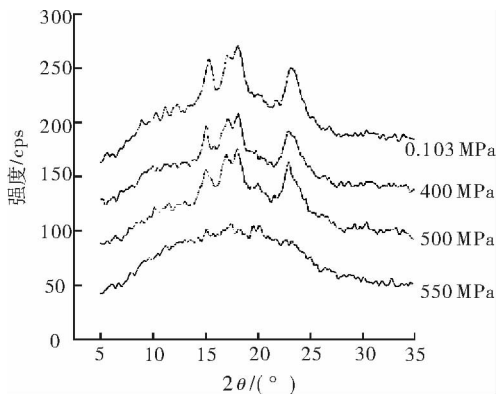


图 4 不同高压处理 5 min 荸荠淀粉样品的 X 射线衍射图

2.2 超高压对高子链结构淀粉糊化作用的影响

图 5 为糯玉米淀粉经不同高压处理 5 min 后的 X 射线衍射图谱. 从图 5 可以看出,550 MPa 的高压处理后其特征衍射峰强度明显减弱;600 MPa 压力处理后,只残余少量结晶区域,衍射峰接近消失;650 MPa 压力处理后,淀粉的特征衍射峰完全消失. 普通玉米淀粉在 550 MPa 压力下已完全糊化(见图 1),可见糯玉米淀粉的糊化压力比普通玉米淀粉要高,由于成糊状和出现结块现象,干燥处理的难度较大. 因此,糯玉米淀粉开始糊化的压力低于 550 MPa,完全糊化的压力为 650 MPa.

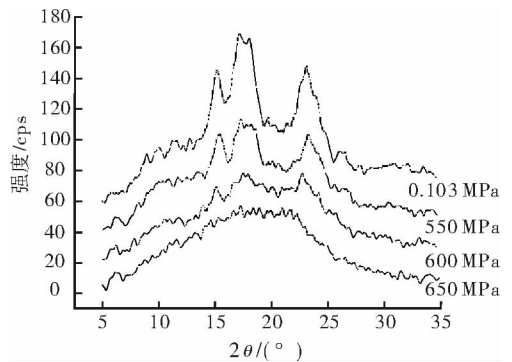


图 5 不同高压处理 5 min 糯玉米淀粉样品的 X 射线衍射图

图 6 为糯小麦淀粉经不同高压处理 5 min 后的 X 射线衍射图谱. 由图 6 可知,400 MPa 压力处理后糯小麦淀粉图谱中 17° 和 18° 的特征衍射峰明显变宽,但强度变化不大;500 MPa 压力处理后淀粉的特征衍射峰明显减弱;550 MPa 压力处理后衍射特征峰已经消失,无定形区的弥散衍射也遭到严重破坏,淀粉被完全糊化. 由此得出糯小麦淀粉开始糊化的压力大于 400 MPa,完全糊化约在 550 MPa.

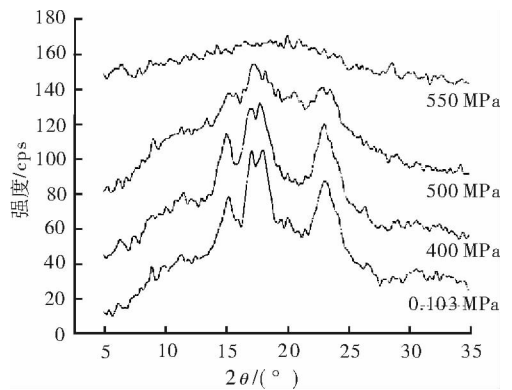


图 6 不同高压处理 5 min 的糯小麦淀粉样品的 X 射线衍射图

图7为经不同高压处理5 min 糯米淀粉的X射线衍射图谱.由图7可知,500 MPa 以下高压处理后,淀粉的特征衍射峰强度随着压力的增大而逐渐减弱,但变化缓慢;550 MPa 压力处理后,处于15°,17°,18°和23°的特征衍射峰均已完全消失.这表明糯米淀粉的糊化压力约为550 MPa.

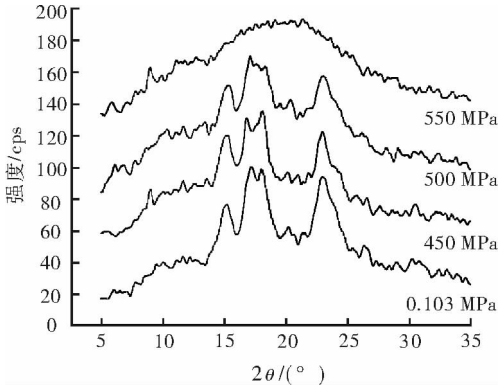


图7 不同高压处理5 min 糯米淀粉样品的X射线衍射图

2.3 超高压对B型结晶结构淀粉糊化作用的影响

马铃薯淀粉溶液分别经过不同高压处理5 min 所得样品的X射线衍射图谱见图8.从图8可以看出,高压处理后马铃薯淀粉样品仍保留B型结晶结构,其衍射图形中,5.8°,15°,17°,19°,22°和24°的衍射峰是B型结构淀粉的特征衍射峰.与天然马铃薯淀粉相比,经600 MPa 高压处理后,马铃薯淀粉衍射曲线中15°,19°,22°和24°的特征峰强度变化不大;随着处理压力的升高,衍射曲线上各特征峰强度不断减弱,当处理压力达到750 MPa时,马铃薯淀粉样品的各衍射峰基本消失,整条曲线变成一个馒头峰,是较典型的无定形结构淀粉的衍射曲线.因

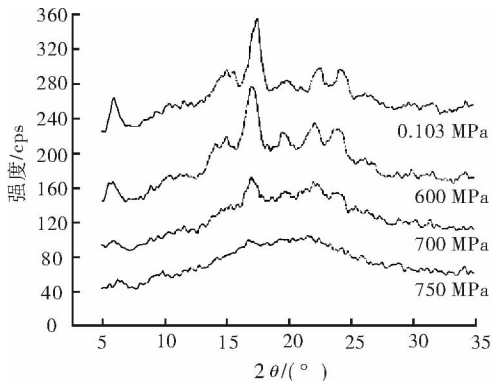


图8 不同高压处理5 min 马铃薯淀粉样品的X射线衍射图

此可以认为,在实验条件下,700 MPa高压下马铃薯淀粉开始糊化,而750 MPa 的超高压可以完全破坏马铃薯淀粉颗粒内部的结晶结构.

3 结论

本文应用超高压仪对8种不同的淀粉进行高压处理,当淀粉浓度为5% (w/v),高压仓环境温度为(20±2) °C,保压时间为5 min 时,各种淀粉的糊化压力范围见表1.

表1 各种淀粉的高压糊化压力

淀粉名称	开始糊化压力/MPa	完全糊化压力/MPa
玉米淀粉	400	550
小麦淀粉	400	500
木薯淀粉	450	500
荸荠淀粉	>500	550
糯玉米淀粉	<550	650
糯小麦淀粉	>400	550
糯米淀粉	>500	550
马铃薯淀粉	700	750

参考文献:

[1] Bauer B A, Knorr D. The impact of pressure, temperature and treatment time on starches: pressure-induced starch gelatinization as pressure time temperature indicator for high hydrostatic pressure processing[J]. J of Food Eng, 2005, 68(3):329.

[2] Katopo H, Song Y, Jane J. Effect and mechanism of ultra-high hydrostatic pressure on the structure and properties of starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2002, 47(3):233.

[3] 刘延奇,毛自荐.超高压作用对淀粉结晶结构的影响研究进展[J].食品科技,2008(9):13.

[4] 刘延奇,周婧琦,赵光远,等.超高压处理对脱脂马铃薯淀粉结晶结构的影响[J].中国粮油学报,2007,22(6):57.

[5] Blaszcak W, Valverde S, Fornal J. Effect of high pressure on the structure of potato starch[J]. Carbohydrate Polymer, 2005, 59(3):377.

[6] 杨留枝,周婧琦,赵光远,等.多次超高压处理对玉米淀粉的影响研究[J].食品与机械,2007,23(6):42.

[7] 刘延奇,郭好薇,赵光远,等.超高压作用对酸解玉米淀粉回生性能的影响[J].食品工业科技,2008,29(10):65.

欧柑橘皮果胶提取工艺条件研究

李卫林^{1,2,3}

1. 武夷学院 茶学与生物系, 福建 武夷山 354300;
2. 武夷学院 绿色化工重点实验室, 福建 武夷山 354300;
3. 郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:采用酸提取法,以产率和褐变指数为指标,采用单因素实验和正交试验综合考察各种因素对欧柑橘皮果胶提取的影响.结果表明,提取液的pH值对产率和褐变指数的影响最强,提取温度的影响其次,随后分别是固液比和提取时间.最优提取条件是:pH=1,固液比1:16,提取温度为80℃,提取时间90min.此时果胶产率18.3%,褐变指数0.535.

关键词:欧柑橘;果胶;褐变指数

中图分类号:TS201.2 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.012

Research on the technology conditions pectin extraction from citrus suavissima hort. et tanaka peel

LI Wei-lin^{1,2,3}

1. Dept. of Tea Sci. and Bioeng., Wuyi Univ., Wuyishan 354300, China;
2. Key Lab. of Green Chem. Eng. Tech., Wuyi Univ., Wuyishan 354300, China;
3. School of Mater. Sci. and Eng., Zhengzhou Univ., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to investigate the effects of various factors on the pectin extraction from citrus suavissima hort. et tanaka peel, single factor experiment and orthogonal experiment were applied to investigate the influence of factors with acidic solution and to precipitate with alcohol and the product yield and browning index as indicator. The result showed that the affecting order of factors was as follows: pH first on yield and browning index, and then temperature, and lastly solid-liquid ratio. The optimum condition of extraction pectin were pH = 1, solid-liquid ratio 1:16, temperature 80 °C, time 90 min. At this condition, the product yield is 18.3%, browning index is 0.535.

Key words: citrus suavissima hort. et tanaka peel; pectin; browning index (BI)

0 引言

果胶作为一种良好的食品添加剂,在食品加

工、医药工业、纺织、造纸、微生物学等领域有广泛的应用^[1].果胶是植物细胞中一种杂多糖,是组成植物细胞壁的重要成分.在果品加工后产生的大量

收稿日期:2011-12-09

基金项目:福建省教育厅课题(JA08247)

作者简介:李卫林(1974—),男,陕西省泾阳县人,武夷学院讲师,郑州大学在读博士研究生,主要研究方向为生物资源的开发利用.

果渣中果胶含量丰富,从果渣中提取果胶具有一定经济效益和环境效益.果胶的提取一般采用酸提取法、草酸胺提取法、离子交换法、微生物法和微波萃取法等^[2].酸提取法多用无机酸作为提取介质,该法较为常用;草酸胺提取法效率较低;离子交换提取法提取效率高,产品质量好,但是成本较高;微生物法可获得高质量产品,效果好,但是应用还不广泛;微波萃取法提取效率高,产品质量好,如果产生大功率微波能量的器件应用于生产并且微波产生器件损耗很小,那么该法将成为未来的应用主导.还有将反应体系置于具有一定电流强度的电场进行提取,最后用乙醇沉淀析出果胶的方法^[3].

植物组织中尤其果皮中,果胶通常都会相伴黄酮物质而存在^[4],而目前的果胶提取原料都是直接采用果皮^[5].酸提取法是目前应用最普遍的果胶提取法,本文采用该方法,以提取完活性物质黄酮的欧柑橘皮渣为原料来提取果胶,以果胶产率和果胶的褐变指数为评价指标,研究果胶提取的最佳工艺条件.

1 实验

1.1 材料与仪器

材料:鲜欧柑橘,购于福建南平市坎下果场,收集果皮,清洗,烘干,粉碎待用.95%乙醇(分析纯),天津市北方天医化学试剂厂产;浓盐酸(分析纯),三明市三元化学试剂厂产;柠檬酸钠(分析纯),郑州市中诚化工有限公司产;碳酸钠(分析纯),上海新华化工厂产;硫酸铜(分析纯),郑州华润化工有限公司产.

仪器:800C 低速大容量离心机,上海安亭科学仪器公司产;DS-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器,河南省予华真空设备公司产;SZH-D(Ⅲ)四表四抽循环水真空泵,河南省予华真空设备公司产;DGX-8073B 高温恒湿鼓风干燥箱,上海福玛实验设备公司产;UV-2550 紫外可见分光光度计,岛津仪器公司产.

1.2 提取及测定方法

1)果胶的提取.采用酸提取果胶用乙醇沉淀的方法.粉碎后的欧柑橘皮,先提取欧柑黄酮,所得产物为橘皮苷.提取后的残渣晾干,称取一定量的残渣,按照一定的固液比加入一定 pH 值的蒸馏水,在一定的温度下加热回流一段时间,然后进行抽滤.

所得滤液浓缩至少量,加入 95% 的乙醇,静置一段时间,抽滤,并用少量的乙醇进行洗涤,同时用斑氏试剂检验,直至滤液中不含单糖成分以防在果胶烘干过程中发生美拉德反应,造成果胶产品的褐变.所得产物 70 °C 烘干,即得欧柑橘皮粗果胶.

先进行单因素实验,确定 4 个影响粗果胶产率的主要因素,即 pH 值(A)、固液比(B)、提取温度(C)、提取时间(D),研究各种因素对果胶产率和褐变指数的影响情况.每个实验同时进行 3 个平行试验,实验结果取平均值,然后进行正交试验以确定最优提取条件,正交试验为 4 因素 3 水平,如表 1 所示.

表 1 正交试验因素水平表

A	B/(g: mL)	C/°C	D/min
1	1:14	70	80
3	1:16	80	90
5	1:18	90	100

2)果胶褐变指数(BI)的测定^[6].称取一定量的粗果胶,配制成 0.01 g/mL 的欧柑橘果胶溶液,测定其在 420 nm 处的吸光值,吸光值越大,褐变越严重.

2 结果与讨论

2.1 单因素对提取果胶的影响

2.1.1 pH 对粗果胶产率的影响 在温度 80 °C,固液比为 1:12,水解时间为 90 min 条件,考察不同 pH 提取果胶的情况.pH 对果胶产率的影响见图 1.

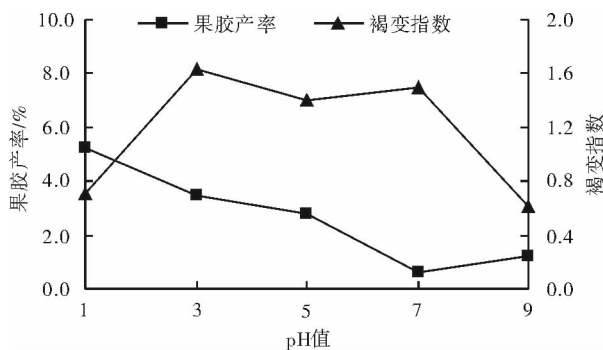


图 1 pH 值对果胶产率和褐变指数的影响

由图 1 可知,在 pH=1 处,粗果胶产率最高.粗果胶产率随 pH 的升高而降低,当 pH=9 时,产率有所回升.通过测定所得产品的褐变指数,可以看出,产率较高时,产品的色泽即褐变指数较低.这可能缘于:在酸性较强时,蛋白质形成沉淀;同时淀粉类

物质水解为单糖,经过随后的过滤和洗涤,在果胶中的含量降到较低水平;在随后的干燥阶段,发生美拉德反应的量也随之降低,进而表现出较好的色泽,即褐变指数也得以降低.从这一组实验得出结论,pH较低时果胶的产率较高,褐变指数也较低.但是酸度太强将会对提取设备提出更高的要求,因此在实际工艺设计中,应考虑产率和设备成本的最佳结合点,pH=1的选择比较好.

果胶提取过程中,应严格控制酸度,以保证果胶产率及质量.若酸液浓度过大,即pH值过低,原果胶水解程度过于强烈,果胶会脱脂裂解,从而使果胶产率降低;如果酸液浓度过小,即pH值过高,则会水解不完全或者反应缓慢,同样会降低产率.

2.1.2 固液比对粗果胶产率的影响 采用不同的固液比,在pH=1,温度为80℃,水解时间90min条件下提取果胶.固液比对粗果胶产率的影响见图2.

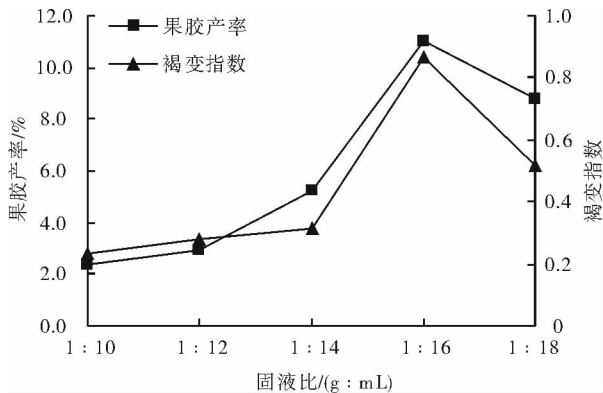


图2 固液比对果胶产率和褐变指数的影响

果胶提取时,固液比较大时会加大抽滤难度,原果胶不能充分水解,故会降低果胶的收率.但当固液比降低到一定程度时会降低抽滤难度,但却延长了浓缩时间.当向果渣中加入的酸液足够多时,才能保证果渣中的原果胶充分水解为果胶,转移至液相中.但在保证充分水解的条件下,还要保证获得较高浓度的提取液,提高果胶的产率,缩短提取时间,因此要选择合适的固液比.由图2知,随着固液比逐步降低果胶收率升高,当固液比达到1:16时,果胶产率达到最大,随后收率开始降低.同时可以发现当提取率取得最大时,褐变指数也达到最大,即产品色度较高时可能降低产品的品质.生产中要考虑产量、质量和效率问题,三者综合考虑.此处取1:16为最佳固液比,虽然产品质量稍有下降,

但是既可维持较高的效率又可达到最高的产量.

2.1.3 温度对粗果胶产率的影响 在pH=1,固液比为1:16,时间90min条件下,采用不同温度水浴加热提取果胶.温度对果胶产率的影响见图3.

由图3可知,当温度达到80℃时果胶产率取得最大,同时产品的褐变指数也最低,即在此条件下,所得产品的产率和色度质量最好,随后温度的升高会使产品产率降低且褐变指数维持较低水平.

由于植物组织中果胶质和纤维素共同形成植物细胞的细胞壁,从而起到保护细胞、屏蔽外来侵害的作用,因此两者之间具有较强的作用力.而在食品加工和生物工程中,都会通过提高温度即蒸煮过程破坏植物组织或者细胞的细胞壁.本组实验说明提取果胶必须达到一定的温度,达到80℃时即可获取高产率和很好的表观质量:温度太低,水解度太小,必然产率低且色度较差;而温度太高,水解度也高,同样会造成果胶产率的降低和色度的降低.因此合适的提取温度为80℃.

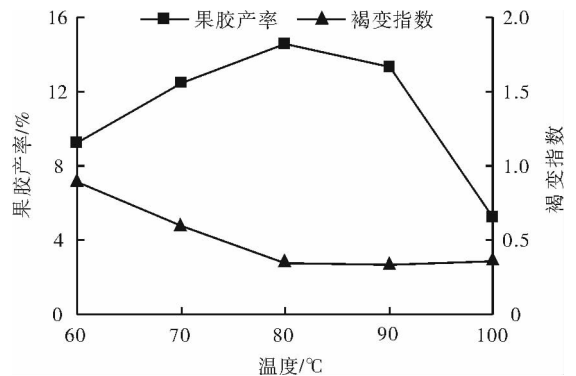


图3 温度对果胶产率和褐变指数的影响

2.1.4 提取时间对粗果胶产率的影响 在pH=1,温度为80℃,固液比为1:16的条件下水解不同时间提取果胶.不同提取时间对果胶产率的影响见图4.

由图4可知,果渣在一定温度下提取90min果胶产率最高.时间少于90min,果胶产率随时间的延长而增大;而时间多于90min,则果胶产率有下降的趋势.同时,从褐变指数的测定结果可以看出,该组实验的产品褐变指数最大不到0.4,最低不到0.3,中间波动幅度大约为0.1,因此认为果胶提取在其他条件保持一定时,提取时间对果胶的褐变指数影响不明显.原果胶充分水解需要一定的时间,如果在一定温度下水解时间越短,则会导致原果胶水解不完全,造成产率偏低;但如果水解时间过长,则会

使生成的果胶继续水解生成果胶酸,从而同样使果胶的产率降低.

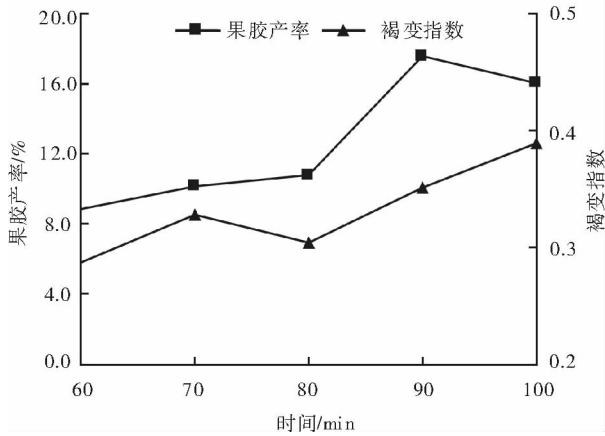


图4 提取时间对果胶产率和褐变指数的影响

2.2 正交试验

通过正交试验 $L_9(3^4)$ 确定出最佳工艺条件,以果胶产率和褐变指数作为衡量指标. 试验结果与分析见表2.

表2 $L_9(3^4)$ 正交试验结果与分析

项目	A	B/(g·mL ⁻¹)	C/℃	D/min	结果	
					产率/%	褐变指数
试验1	1	1	1	1	14.7	0.441
试验2	1	2	2	2	18.3	0.535
试验3	1	3	3	3	13.1	0.385
试验4	2	1	2	3	13.6	1.131
试验5	2	2	3	1	12.4	0.592
试验6	2	3	1	2	11.7	1.215
试验7	3	1	3	2	5.6	0.968
试验8	3	2	1	3	8.0	1.032
试验9	3	3	2	1	8.2	1.210
均值11	15.367	11.300	11.467	11.767		
均值12	12.567	12.900	13.367	11.867		
均值13	7.267	11.000	10.367	11.567		
极差	8.100	1.900	3.000	0.300		
主次序	ACBD					
优水平	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂		
均值21	0.454	0.847	0.896	0.748		
均值22	0.979	0.720	0.959	0.906		
均值23	1.070	0.937	0.648	0.849		
极差	0.616	0.217	0.311	0.158		
主次序	ACBD					
优水平	A ₁	B ₂	C ₃	D ₁		

注:均值1表示以果胶产率为指标的均值;均值2表示以褐变指数为指标的均值,而褐变指数越小越好.

由表2可知,4个因素对粗果胶产率影响的强弱顺序为 pH(A) > 提取温度(C) > 固液比(B) > 提取时间(D);最优提取条件为 A₁B₂C₂D₂. 而4个因素对果胶质量指标褐变指数的影响强弱顺序为 pH(A) > 提取温度(C) > 固液比(B) > 提取时间(D),与对果胶产率影响强弱顺序相同,最优提取条件为 A₁B₂C₃D₁. 但是在用2种指标考评果胶的提取时发现,温度对2种指标的影响出现差异,但是从单因素实验可知,温度高于80℃对果胶的褐变指数影响很小,因此最优提取温度选80℃;时间对2种指标的影响都较弱,选择时间较短的90min不会造成果胶的褐变指数显著的增加,同时可以保证果胶的产率. 因此从欧柑橘皮渣中提取果胶的最优方案为 A₁B₂C₂D₂. 该条件下的果胶产率为18.3%,褐变指数为0.535.

3 结论

本文考察了 pH 值、固液比、提取温度、提取时间等因素对果胶的产率和褐变指数的影响,发现:提取液的 pH 对产率和褐变指数影响最强,提取温度次之. 最优提取方案为:提取液 pH = 1,固液比为 1:16,温度为 80℃,时间 90 min,在此条件下,果胶的产率为 18.3%,可以维持果胶较好的色度,褐变指数为 0.535.

参考文献:

- [1] 阙健全. 食品化学[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2002:49-55.
- [2] 徐怀德,仇农学. 苹果贮藏与加工[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [3] 戴玉锦,王凤仙,张筱娟. 用离子交换法从柚皮中提取果胶的研究[J]. 安徽农业科学,2006, 34(3):562.
- [4] Berardini N, Kndler M, Schieber A, et al. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics[J]. Innovative Food Sci & Emerging Tech,2005,6(4):442.
- [5] 蔡文,谭兴和,张喻,等. 柑橘果皮果胶提取与分离方法的研究进展[J]. 食品与机械,2011,27(2):161.
- [6] 范会平,彭凯,胡小松,等. 乙醇沉淀时间对苹果果胶性质的影响[J]. 食品与发酵工业,2009,35(10):49.

绿豆芽全肉质饮料工艺研究

程彦伟, 韩建明, 冯爱青, 张耀武, 韩霜 魏洁

(洛阳师范学院 生命科学系, 河南 洛阳 471022)

摘要:研究了以绿豆芽为原料的全肉质豆芽饮料的配方及加工条件,结果表明:选用生长4—5 d的绿豆芽,豆芽杀青条件为95 ℃,4 min;饮料的最佳配方为柠檬酸用量0.09%,蔗糖用量7%,绿豆芽原汁用量20%;复合稳定剂(CMC-Na和琼脂为1:1)为0.09%,采用115 ℃灭菌7 min,即可得到气味清香、酸甜可口、口感细腻的绿豆芽全肉质饮料。

关键词:绿豆芽;全肉质饮料;工艺配方

中图分类号:TS257 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.013

Research on the technology for mung-bean-sprout fleshy beverage

CHENG Yan-wei, HAN Jian-ming, FENG Ai-qing, ZHANG Yao-wu, HAN Shuang, WEI Jie

(Life Sci. College, Luoyang Normal Univ., Luoyang 471022, China)

Abstract: The processing technology formula and condition for mung-bean-sprout fleshy beverage were studied. The results showed that the mung-bean-sprout was selected for growth 4-5 d and sterilized under 95 ℃ for 4 min; the best formula of mung-bean-sprouts beverage was the amount of 0.09% citric acid, 7% sucrose, 20% of the amount of mung bean juice; 0.09% compound stabilizer (CMC-Na and agar 1:1), with 115 ℃ for 7 min sterilization. The taste of mung-bean-sprouts fleshy beverage is sweet, sour and fragrant.

Key words: mung-bean-sprout; fleshy beverage; technique formula

0 引言

绿豆芽是我国人民的传统蔬菜,不但色泽晶莹剔透,具有独特的豆芽清香,而且还有很高的营养价值,其营养物质与豆类相比更易被人体消化吸收。经常食用绿豆芽能保护皮肤和微血管,降低脂肪酸,达到美容的功效^[1]。由于一种胰蛋白酶抑制素的作用,人体不能充分消化豆类蛋白,豆粒中钙、磷、锌等无机盐也不易释放。通过绿豆的发芽过程,

酶的作用使豆芽中的钙、磷、锌等矿物质更多地释放出来,其中的脂肪氧化酶、胰蛋白酶抑制物等不利因子会被除去,而蛋白质会被分解成氨基酸、多肽,多糖也转化成单糖或低聚糖,其生物效价和利用率均显著提高。

绿豆芽作为蔬菜生产不受季节和地区的限制,而且生产周期短、成本低,非常适宜饮料加工。袁江兰等^[2]通过绿豆芽汁和菠萝汁复配得到了一种酸甜可口的绿豆芽菠萝汁饮料;鲁绯等^[3]利用黄豆芽

收稿日期:2012-02-13

基金项目:河南省青年骨干教师资助项目(2011ggjs-154);河南省科技攻关计划项目(102102110155);河南省教育厅项目(2010B180020);洛阳师范学院应用科学与技术研究基金项目(10000993)

作者简介:程彦伟(1975—),男,河南省清丰县人,洛阳师范学院讲师,博士,主要研究方向为微生物学和食品工艺。

制备了营养丰富的黄豆芽汁饮料;程彦伟等^[4]获得了清新爽口、澄清透明的绿豆芽苹果汁饮料;还有少量关于豆芽汁与火棘、芹菜汁等复合饮料的报道^[5-6]。而全肉质绿豆芽饮料富含纤维素,能促进肠胃消化吸收,目前还未见相关研究报道。本文将以绿豆芽为原料,探索其全肉质饮料配方及最佳加工条件。

1 制作工艺与研究方法

1.1 材料和试剂

绿豆芽,超市购买绿豆,20℃浸水萌发,22℃恒温培养,生长期为4—5 d的优质绿豆芽。琼脂(上海医学化验所试剂厂产,食品级),羧甲基纤维素钠(上海申光食用化学品有限公司产,食品级),均符合GB 2760—86标准。柠檬酸,山东廊坊英轩实业有限公司产,食品级;蔗糖,西陇化工股份有限公司产,分析纯。

1.2 仪器设备

TS—25C 蒸煮锅,北京兰德梅克科技开发有限公司产;MJ—350PP01A 榨汁机,广东美的生活电器制造有限公司产;JM—50a 胶体磨,上海祁泉泵业有限公司产;EF—C500B 高压均质机,上海光健有限公司产;KLZT—1 脱气机,上海科劳有限公司产;YXQ—SG46—280S 高压灭菌锅,苏州宏拓电子有限公司产;CP34—001S 电子天平,杭州科晓化工仪器设备有限公司产。

1.3 工艺流程^[4]

绿豆芽→清洗→杀青→冷却→粉碎、打浆→调配→均质→脱气→杀菌→装瓶→冷却→产品

1.4 研究方法

1.4.1 原料的选择与清洗 选择萌发4—5 d的绿豆芽,去杂质和腐烂颗粒后用清水洗去上面的污物。

1.4.2 杀青 采用不同的温度和时间对原料进行杀青处理,为探索绿豆芽的最佳杀青温度(A)与时间(B)的组合,试验因素及水平设计见表1。

1.4.3 冷却 将杀青后的绿豆芽立即置入冷水中冷却至室温,以减少因长时间受热而导致的营养物质的破坏和损失。

1.4.4 打浆 将冷却后的绿豆芽与纯净水以1:1的比例(豆芽100 g,纯净水100 mL)混合打成粗汁液,然后用胶体磨研磨成细腻汁液。

1.4.5 调配 1)风味调配。为了获得饮料的最佳

表1 杀青试验因素及水平设计

水平	A/℃	B/min
1	90	2
2	95	3
3	100	4

风味配方,选择柠檬酸(A)、蔗糖(B)、绿豆芽原汁(C)3个因素,采用3因素3水平正交试验方法来研究其最佳配方,试验因素水平设计见表2。

表2 正交试验因素水平表 %

水平	A	B	C
1	0.12	7	22
2	0.09	6	20
3	0.06	5	18

2)稳定剂的选择。绿豆芽全肉质饮料生产过程中的浆液虽然经胶体磨和高压均质机处理,但在储存过程中,成品中的细小纤维碎片会因凝聚和重力作用而产生沉淀,从而降低产品的稳定性^[3]。这一问题可以通过添加稳定剂来解决,选用稳定剂的种类及用量见表3。

表3 稳定剂种类及用量 %

CMC-Na	琼脂	复合稳定剂 (CMC-Na:琼脂为1:1)
0.06	0.06	0.06
0.09	0.09	0.09
0.12	0.12	0.12

1.4.6 均质 将调配后的汁液放入高压均质机中进行均质,均质压力为14 MPa,最高不高于20 MPa。

1.4.7 脱气 采用真空脱气,真空度为90~93 kPa,温度为室温。

1.4.8 灭菌 采用高压蒸汽灭菌法,在115℃下高压蒸汽杀菌2 min,4 min,7 min,10 min,15 min,20 min,25 min,30 min。趁热封盖,然后在冷水中冷却至常温,放置15 d,观察灭菌效果^[5]。

1.4.9 装瓶 将灭菌后的饮料装入无菌的瓶中或罐中,即为成品。

1.5 感官鉴定评价标准

由20名鉴评人员对试验样品依次从色泽、香味、滋味、组织状态4个方面,采用感官评分检验法进行评分,以平均分数作为最终评分(见表4)。

1.6 理化指标和卫生测定方法

总糖测定:采用斐林试剂法,按照GB/T 5009.8

表4 感官评分参考标准

等级	色泽(满分1分)	香味(满分3分)	滋味(满分4分)	组织状态(满分2分)
一级 (9.0~10.0分)	颜色淡白, 晶莹透亮 (0.7~1.0分)	无豆腥味, 有绿豆芽的清香 (2.8~3.0分)	甜味正, 酸味爽口 (3.6~4.0分)	均匀分布, 无杂物及悬浮物 (1.8~2.0分)
二级 (7.5~9.0分)	色泽均匀, 呈浅白色 (0.6~0.7分)	无豆腥味, 香味稍淡 (2.4~2.7分)	稍甜或酸, 口感较好 (3.0~3.5分)	均匀液体, 无明显分层 (1.5~1.7分)
三级 (6.0~7.5分)	色泽不均匀, 颜色暗淡 (0.4~0.5分)	稍有豆腥味, 香味不明显 (2.0~2.3分)	过甜或过酸, 口感较差 (2.4~2.9分)	有豆芽碎渣, 浑浊分层 (1.2~1.4分)

方法进行. 可溶性固形物的测定: 采用 GB 12143.1—88 软饮料中可溶性固形物的折光计法^[3]. 酸度测定: 采用中和滴定法^[3]. 微生物含量测定: 采用菌落总数和大肠杆菌菌群测定法^[7].

2 结果与讨论

2.1 生长期的确定

通过对绿豆芽研究发现: 在生长初期淀粉含量比较高, 加工时易形成大量沉淀, 而且豆腥味较重; 生长后期则纤维素含量过高, 不利于出汁; 而生长4—5 d 的绿豆芽的氨基酸、含糖总量达到最高. 因此选择生长4—5 d 的绿豆芽进行饮料加工.

2.2 杀青温度与时间的确定

杀青试验结果见表5.

表5 杀青试验结果

试验号	A/℃	B/min	杀青效果
1	90	2	豆腥味和生青味很重
2	90	3	豆腥味和生青味重
3	90	4	仍有豆腥味和生青味
4	95	2	豆腥味和生青味重
5	95	3	少许豆腥味和生青味
6	95	4	无豆腥味和生青味
7	100	2	少许豆腥味和生青味
8	100	3	几乎无豆腥味和生青味
9	100	4	无豆腥味和生青味

由表5可以看出: 90℃时随着杀青时间的增加, 杀青效果逐渐变好; 95℃时杀青4 min 效果最好; 100℃时杀青3 min 和4 min 时效果也较好. 但由于随着温度升高会使其他营养物质发生破坏和损失, 综合考虑, 选择95℃下杀青4 min 为宜.

2.3 最佳配方确定

风味调配正交试验结果见表6.

由表6可知: 柠檬酸和蔗糖都对饮料质量具有重要影响, 其次是绿豆芽原汁量. 柠檬酸和蔗糖的添

表6 风味调配正交试验表

序号	A/%	B/%	C/%	感官评价/分
1	0.12	7	22	8.3
2	0.12	6	20	8.0
3	0.12	5	18	7.8
4	0.09	7	20	9.2
5	0.09	6	22	8.6
6	0.09	5	18	8.2
7	0.06	7	18	8.3
8	0.06	6	22	8.1
9	0.06	5	20	7.9
K_1	24.1	25.8	24.6	
K_2	26.0	24.7	25.1	
K_3	24.3	23.9	24.7	
R	1.9	1.9	0.6	

加量为影响产品质量的主要因素, 产品中加入的糖酸量决定着饮料最后的糖酸比; 绿豆芽原汁量决定了产品的风味. 因此 $A_2B_1C_2$ 为最佳配方组合, 即柠檬酸用量0.09%, 蔗糖用量为7%, 原汁用量20%, 此配方产品的风味和口感相对较好.

2.4 稳定剂的选择

通过在产品中添加不同的稳定剂及用量的对比试验, 结果见表7.

表7 不同稳定剂对产品的稳定效果

稳定剂名称	用量/%	稳定效果	口感
CMC-Na	0.06	沉淀	—
	0.09	少量沉淀	—
	0.12	无沉淀	口感黏稠
琼脂	0.06	沉淀	—
	0.09	沉淀	—
	0.12	沉淀	—
复合稳定剂	0.06	沉淀	—
	0.09	无沉淀	爽口
	0.12	无沉淀	较爽口

试验结果显示, 无论从口感或者沉淀效果上看, CMC-Na 或琼脂单一稳定剂都没有复合稳定剂效果好, 故选择 CMC-Na 和琼脂为1:1的复合稳定剂, 浓度为0.09%时效果相对较好, 再与均质结合就能使产品的稳定性得到进一步的提高.

2.5 灭菌结果

灭菌采用115℃高压蒸汽灭菌, 不同时间灭菌对比试验结果见表8.

由表8可知, 115℃下灭菌时间小于4 min, 饮

表8 灭菌试验结果

灭菌时间/min	腐败情况	稳定性
2	+	-
4	+	-
7	-	-
10	-	+
15	-	++
20	-	++
25	-	+++
30	-	+++

注:“+”表示有腐败现象或有沉淀;“-”表示无腐败现象或无沉淀。

料稳定性、风味不发生变化,但容易染菌腐败,只能低温短时储藏,不利于饮料大规模生产和长距离运输;10 min以上灭菌效果较好,但饮料会随灭菌时间增加而产生大量沉淀,饮料颜色也会加深,饮料风味口感变质;115℃下灭菌时间保持7 min,则保存期长且稳定性较好。综合分析确定其灭菌条件是115℃灭菌7 min为宜,该条件下产品保质期能达到1 a左右。另外设备允许可采用瞬时高温灭菌法,即在135~145℃高温下停留10~15 s,进一步减少饮料营养损失。

3 结论

本文以绿豆芽为原料,研究了其全肉质饮料配方及最佳工艺条件。原料选用生长4~5 d的绿豆芽最为合适,豆芽的杀青条件为95℃,4 min。最佳的工艺配方为柠檬酸用量0.09%,蔗糖用量7%,绿豆

芽原汁用量20%,复合稳定剂浓度为0.09% (CMC-Na和琼脂为1:1),经过调配、均质和115℃杀菌7 min后,即得绿豆芽全肉质饮料。

产品感官指标:1)色泽,呈淡淡的乳白色。2)气味,具有独特的绿豆芽清香。3)滋味,酸甜可口,口感细腻。4)组织状态,液体均匀,无杂物及悬浮物。

产品的理化指标:可溶性固形物>12%;总糖>8%;酸度(以柠檬酸计)0.09%。

产品微生物指标:细菌总数<100个/mL;大肠杆菌<3个/mL;致病菌不得检出。

参考文献:

- [1] 杨桂馥. 软饮料工业手册[M]. 北京:中国轻工业出版社,2002.
- [2] 袁江兰,康旭,林向东. 绿豆芽菠萝复合营养爽的研制[J]. 食品工业,2001,4(5):28.
- [3] 鲁绯,郑桂富. 黄豆芽饮料的生产工艺[J]. 冷饮与速冻食品工业,1999(4):7.
- [4] 程彦伟,唐琳,李勇慧,等. 绿豆芽苹果汁复合饮料的配方及工艺研究[J]. 河南工业大学学报:自然科学版,2011,32(5):43.
- [5] 丁筑红. 绿豆芽火棘复合饮料的研制[J]. 食品研究与开发,1999,20(2):32.
- [6] 吴先辉,周寒松,田妍基. 黑豆芽与芹菜复合汁饮料的研制[J]. 农产品加工,2009(10):50.
- [7] 周德庆. 微生物学实验教程[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2006.

阈值测定在食品特征香气分析中的应用综述

毛多斌, 陈欢, 杨靖, 贾春晓

(郑州轻工业学院 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:对应用 GC-O 等技术的阈值测定在酒类、水果类、乳类及其他方面食品特征香气分析中的应用进行了综述,指出将传统方法与现代分离技术(如稳定同位素稀释测定技术等)、食品加工技术、生物技术等相结合在香味物质的阈值测定中会应用更广泛,阈值测定范围也将拓展到更加广范的领域.

关键词:阈值测定;食品特征香气;GC-O

中图分类号:R283 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.014

Review of application of threshold determination in the analysis of food characteristic aroma

MAO Duo-bin, CHEN Huan, YANG Jing, JIA Chun-xiao

(College of Food and Bioeng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract:The application of threshold determination using gas chromatography-olfactometry (GC-O) technology for important active odor of food flavor compounds in wines, fruit, milk and other food industry were reviewed. It was pointed out the combination tradition methods with modern separation technology (such as SIDA), food processing technology and biotechnology etc have a move extensive application, threshold analysis methods were beneficial to expanding more application field.

Key words:threshold determination; food characteristic aroma; GC-O

0 引言

香味学中的阈值是指香味物质在一定的介质中被人的感官所感受到的最低浓度值,理论上包括嗅觉阈值和味觉阈值.食品阈值测定中通常包括仅靠嗅觉评价的香气(气味)阈值、通过品尝测定的味觉阈值,统称为辨识阈值.但香味物质可能存在低浓度情况下香气特征发生变化的情况,因此,香气阈值测定中还有特征香气阈值的概念,即保持所期望香气特征时的最低浓度值.关于气味阈值的报道最早在1888年,Fischer和Penzoldt首次测定了乙基硫醇的气味阈值^[1].早期关于气味物质的阈值测定

主要是挥发性化学物质的安全控制、空气和水污染的控制或不良气味的测定^[2].欧洲自来水气味或香味测定标准就是采用感官评价的方法,用选定的参照水样品稀释样品水来获得样品水的阈值香味单位(TFN)和阈值气味单位(TON)^[3].本文拟对阈值测定方法研究及该法在食品特征香气分析中的应用进行综述,并对其在香精香料、食品风味等方面的相关研究趋势予以展望.

1 阈值测定方法

在辨识阈值测定中经常采用的经典方法有2个,一个是D. G. Guadagni等^[4]的方法,另一个是J.

E. Amoore^[5]的方法. 随着现代分析分离技术的发展,将气味检测仪与分离挥发性物质的气相色谱仪结合的一种技术 GC-O (gas chromatography-olfactometry) 技术在香气阈值的研究中得到了越来越广泛的应用. 李雪等^[6]综述了 GC-O 的分析方法、GC-O 分析的影响因素和解决途径及其应用. J. C. Leffingwell 等^[7]对此前报道的 GRAS 名单中香味化合物的辨识阈值进行了总结,共列出 287 种香气阈值和香味阈值的数据,这些数据均以水为介质. 该文献总结了影响阈值测定的几个因素: 试验方法; 评定成员的感官评定经验; 被测定香味物质的纯度; 被评定香味物质存在的介质等. 香味阈值与香气阈值有差异,前者是通过口腔和鼻腔辨识,后者是单独通过鼻腔辨识,因此,对同一物质的报道可能存在数据差异.

2 阈值测定应用

在食品研究开发中,香气阈值和香味阈值研究是重要的一个方面. 随着食品加工业的发展和感官评价方法的不断完善,人们出于对食品香味的质量控制或调制食品风味的需要,开始出现大量的关于食品香味物质阈值的研究报道. 利用 GC-O 等技术研究酒类、天然水果类食品和乳类产品香气阈值或香味阈值方面的报道颇多.

2.1 在酒类产品中的应用

P. X. Etievant 等^[8]利用 GC-O 技术对 Muscat 葡萄酒中的 9 种重要香气成分大马酮、桂酸乙酯、丁香酚、 β -紫罗兰酮、 δ -癸内酯、 γ -壬内酯、 δ -壬内酯、 δ -十二内酯和苯乙醛进行了浓度及阈值测定,结果显示桂酸乙酯和 β -紫罗兰酮对该酒类香气特征影响显著. V. Ferreira 等^[9]通过香气提取稀释技术 (AEDA)、主要香气成分的定量分析技术、活性阈值测定技术和系列重组及合成化合物模型缺失试验研究了歌海娜玫瑰葡萄酒的香气,发现了 38 个香气物质;由 24 个化合物 (OAV > 0.5) 混合制备得到的香气模型体系与玫瑰酒香气表现高度一致;玫瑰酒中存在的最重要香气物质是 3-巯基-1-己醇,其具有酒的果香和柑橘气息强烈的冲击感. A. Romano 等^[10]通过对 51 个波尔多红葡萄酒的检测发现,乙基苯酚浓度和葡萄酒的风味相关性很低,这主要是葡萄酒中的异丁酸和异戊酸的掩蔽效应导致的. G. Lermusieau 等^[11]使用 AEDA 和 GC-O 技术

发现啤酒中含有大量的啤酒花的香气成分,但 γ -壬内酯、肉桂酸乙酯、葎草二烯酮、二甲基三硫醚是在啤酒的蒸馏和发酵过程中产生的,在啤酒花提取物中未找到. D. Saison 等^[12]运用 GC-O 技术研究了比利时储藏啤酒中 26 种熟化成分的香味阈值,发现在啤酒中测定的香味成分阈值明显低于以往报道,还考证了乙酸异戊酯和不同香味成分之间的掩盖效应. F. L. Sterckx 等^[13]运用 GC-O 技术通过测定 11 种食品单酚类物质在啤酒中的香味阈值,考察了它们对 3 种啤酒香味总体的贡献,结果显示这些酚类在啤酒中的阈值差异性较大. 郭兆阳等^[14]通过毛细管色谱柱直接进样法测得白酒中醇类、酸类、酯类、醛类、吡嗪类等 70 余种组分及其含量,通过阈值转化为香气活性值后,将 OAV 高的物质确定为白酒香型形成的关键香气组分. 李红蕾等^[15]运用动态风味稀释嗅辨系统对黄酒中的一些香气物质进行嗅觉阈值的测定,确定了对黄酒香气有重要贡献的关键香气物质.

2.2 在水果类香气产品中的应用

E. S. Keith 等^[16]运用 GC-O 技术对用于桃饮料的桃味香精所含的香味物质阈值进行了测定,并考察了香味成分之间的感官作用. E. M. Ahmed 等^[17]运用 GC-O 技术对橙汁等果汁中存在的 4 种萜烯类、5 种醇类、13 种醛类、6 种酯类和 2 种醇类化合物在水中的香气阈值和香味阈值进行了测定, H. S. Song 等^[18]采用 GC-O 技术对冷榨法获得的玳玳皮油的特征香气成分进行了测定,结果显示, E-柠檬醛、乙酸辛酯、香叶醇、柏木醇、辛醛、Cis-柠檬烯氧化物、Trans-桂醛、乙酸芳樟酯和 β -榄香醇是精油的特征香气成分和活性香味物质. A. Hognadottir 等^[19]使用 GC-FID/O 和气相色谱-质谱 (GC-MS) 技术鉴定了橘油中的香味活性化合物,共检测到 95 种挥发性成分,其中 55 种有香味活性. J. A. Pino 等^[20]使用 GC-CMS 和 GC 技术对生长在古巴的马来玫瑰果的香气成分进行了分析,在香气浓缩物中共鉴定出 133 种化合物,对其中 29 种成分进行了香气阈值测定,发现该果的主要香气特征是由玫瑰香韵 (苯乙醇及其酯) 与药草香韵 (1-癸烯-3-醇) 相互作用的结果. S. Elss 等^[21]运用 GC-O 技术研究了果汁和果汁制品中存在的 6 种化合物 (柠檬烯、 α -松油醇、香芹酮、2-甲基丁酸甲酯、2-甲基丁酸乙酯和 γ -癸内酯) 在糖/酸溶液、苹果和橙汁以及苹果和橙汁替代物 (由水稀释浓缩果汁) 介质中的

香气和香味阈值. P. R. Prez-cach 等^[22]应用阈值分析技术测定了愈创木酚在橙汁中的香味阈值,建立了可与 SPME/GC/MS 分析检出限比拟的阈值分析方法.

2.3 在乳类制品中的应用

T. J. Siek 等^[23]以脱色奶油为介质,测定了 31 种奶油中存在的挥发性化合物的香味阈值,同时也测定了以鲜奶油为介质的 7 种化合物阈值. 次年该研究小组^[24]进一步研究了上述部分化合物在水和奶油中阈值的差异,结果显示在水中的部分 γ -内酯的阈值比在奶油中的低. M. V. Santos 等^[25]研究了 2% 脂肪乳中异味的感官阈值和特征. C. Heiler 等^[26]利用阈值分析技术结合仪器分析技术的分析结果对储存酸奶中金属气息进行了研究,发现储存酸奶中产生金属气息的主要贡献者是(E,Z)-2,6-壬二烯醇. J. Kubícková 等^[27]将化学分析与感官分析相结合,研究了存在于奶酪中一系列氨基酸的味觉阈值并对各种氨基酸味觉特征进行了确证.

2.4 在其他方面的应用

R. C. Buttery 等^[28]提出了利用阈值分析结果对蒸米饭香气进行重组的调香技术. V. M. E. Cotte 等^[29]采用 GC-O 法和鼻冲击频率法(NIF)分析了 10 种不同类型的烟叶和配方的烟气,并使用 MS 技术在 10 个卷烟样品中发现和鉴定了 228 种成分和 15—21 种 NIF 值超过 40% 的气味物质. K. S. Tandon 等^[30]使用 GC-O 和 GC-MS 技术鉴定了新鲜马铃薯中的挥发性香味化合物,共辨别出 23 种香气成分. R. Mebazaa 等^[31]在不同的条件下使用溶剂萃取和静态顶空-固相微萃取(SHS-SPME)来获取与突尼斯葫芦巴籽气味有关的挥发性成分,使用 GC-O 和 GC-MS 鉴定了 67 种化合物,其中有些是第 1 次报道(例如一些吡嗪、2,5-二甲基-4-羟基-3(2H)-酮和 1-表-萜澄茄油烯醇).

3 展望

综上所述,国外关于食品感官阈值及其应用技术已有较系统的研究,而国内相关研究报道较少. 通过考察国内外相关研究可以发现:随着食品香味检测技术的发展,单纯感官分析技术的简单应用已经不能满足实际需要,在香味感官研究中,将传统方法与现代分析分离技术(如稳定同位素稀释测定技术 SIDA, HRGC-MS, GC-O 技术等)、食品加工技

术、生物技术等相结合,对香味物质在体系中的香味阈值及含量进行准确测定已经越来越广泛,其中利用 GC-O 技术测定复杂香味体系中香味成分的阈值尤为突出;同时在研究对象上不仅仅局限于食品方面,也将拓展到其他产品,其应用范围将愈加广阔.

参考文献:

- [1] David J Rowe. Chemistry and Technology of Flavors and Fragrances[M]. Orford: Blackwell Publishing Ltd, 2005.
- [2] Amooore J E, Hautala E. Odor as an aid to chemical safety: odor thresholds compared with threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution [J]. J of Applied Toxicology, 1983, 3(6): 272.
- [3] Rignal S. Odour and flavour in waters: quantitative method for a new European standard water [J]. Sci and Tech, 1995, 31(11): 237.
- [4] Guadagni D G, Buttery R G. Odor thresholds of 2,3,6-Trichloroanisole in water [J]. J Food Sci, 1978, 43: 1346.
- [5] Amooore J E. Molecular Basis of Odor [M]. Springfield: Charles C Thomas Publishers, 1970: 16-25.
- [6] 李雪, 苏平, 应丽亚. GC-O——食品风味化合物检测技术及其应用 [J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(8): 140.
- [7] Leffingwell J C, Leffingwell D L. GRAS flavor chemicals-detection thresholds [J]. Perfumer and Flavorist, 1991, 16: 1.
- [8] Etievant P X, Issanchou S N, Bayonove C L. The flavour of muscat wine: The sensory contribution of some volatile compounds [J]. J Sci Food Agric, 1983, 34: 497.
- [9] Ferreira V, Ortin N, Escudero A, et al. Chemical characterization of the aroma of Grenache rose wines: Aroma extract dilution analysis quantitative determination, and sensory reconstitution studies [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(14): 4048.
- [10] Romano A, Perello M C, Lonvaud-Funel A, et al. Sensory and analytical re-evaluation of "Brett character" [J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 15.
- [11] Lermusieau G, Bulens M, Collin S. Use of GC-Olfactometry to identify the hop aromatic compounds in beer [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49: 3867.
- [12] Saison D, David P De Schutter, Bregt Uyttenhove, et al. Contribution of staling compounds to the aged flavour of lager beer by studying their flavour thresholds [J]. Food Chemistry, 2009, 114(4): 1206.
- [13] Sterckx F L, Missiaen J, Saison D, et al. Contribution of

- monophenols to beer flavour based on flavor thresholds, interactions and recombination experiments [J]. Food Chemistry, 2011, 126:1679.
- [14] 郭兆阳,刘明,钟其顶. 主成分分析 OAV 值评价白酒风味组分的研究[J]. 食品工业, 2011(7):79.
- [15] 李红蕾,冯涛. 基于嗅辨仪与气质联用确定黄酒中的关键风味物质[J]. 食品工业, 2011(9):102.
- [16] Keith E S, Powers J J. Determination of flavor threshold levels and sub-threshold additive and concentration effects[J]. J of Food Sci, 1968, 33:113.
- [17] Ahmed E M, Dennison R A, Dougherty R H, et al. Flavor and odor thresholds in water of selected orange juice components[J]. J Agric Food Chem, 1978, 26 (1):187.
- [18] Song H S, Sawamura M, Ito T, et al. Quantitative determination and characteristic flavor of daidai (citrus aurantium L. var. cyathifera Y. Tanaka) peel oil[J]. Flavour Fragr J, 2000, 15:323.
- [19] Hognadottir A, Rouseff R L. Identification of aroma active compounds in orange essence oil using gas chromatography-olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry[J]. J of Chromatography A, 2003, 998:201.
- [20] Pino J A, Marbot R, Rosad A, et al. Volatile constituents of malay rose apple (syzygium malaccense (L.) Merr. & Perry) [J]. Flavour Fragr J, 2004, 19:32.
- [21] Elss S, Kleinhenz S, Schreier P. Odor and taste thresholds of potential carry-over/off-flavor compounds in orange and apple juice[J]. LWT, 2007, 40:1826.
- [22] Prez-cach P R, Danyluk M D, Rouseff R. GC-MS quantification and sensory thresholds of guaiacol in orange juice and its correlation with *Alicyclobacillus* spp [J]. Food Chemistry, 2011, 129:45.
- [23] Siek T J, Albin I A, Sather K A, et al. Taste thresholds of butter volatiles measured in butteroil [J]. J Food Sci, 1969, 34(3):265.
- [24] Siek T J, Albin I A, Sather K A, et al. Comparison of flavor thresholds of aliphatic lactones with those of fatty acids, esters, aldehydes, alcohols, and ketones [J]. J of Dairy Sci, 1970, 54(1):1.
- [25] Santos M V, Ma Y, Caplan Z, et al. Sensory threshold of off-flavors caused by proteolysis and lipolysis in milk[J]. J Dairy Sci, 2003, 86(5):1601.
- [26] Heiler C, Schieberle P. Quantitative instrumental and sensory studies on aroma compounds contributing to a metallic flavour defect in buttermilk[J]. Int Dairy J, 1997(7):659.
- [27] Kubícková J, Grosch W. Evaluation of flavour compounds of camembert cheese[J]. Int Dairy J, 1998(8):11.
- [28] Buttery R C, Turnbaugh J G, Ling L C. Contribution of volatiles to rice aroma [J]. J Agri Food Chem, 1988, 36(5):1006.
- [29] Cotte V M E, Prasad S K, Wan P H W. Cigarette smoke: GC-Olfactometry analyses using two computer programs [J]. Expression of Multidisciplinary Flavor Science, 2010(12):498.
- [30] Tandon K S, Jordan M, Goodner K L, et al. Characterization of fresh tomato aroma volatiles using GC-Olfactometry [J]. Proc Florida State Hort Soc, 2001, 114:142.
- [31] Mebazaa R, Mahmoudi A, Fouchet M, et al. Characterisation of volatile compounds in Tunisian fenugreek seeds [J]. Food Chemistry, 2009, 115:1326.

类胡萝卜素降解方式的研究综述

许春平, 王铮, 郑坚强, 毛多斌

(郑州轻工业学院 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:通过对关于类胡萝卜素的物理降解、化学降解和生物降解方式以及降解机制与产物关系研究的综述,指出生物降解有独特优点,高活性的类胡萝卜素生物降解菌的筛选以及工业化应用将成为今后研究的重点。

关键词:类胡萝卜素;降解类型;降解机理

中图分类号:TS49 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.015

Review of research on degradation pattern of carotenoid

XU Chun-ping, WANG Zheng, ZHENG Jian-qiang, MAO Duo-bin

(College of Food and Bioeng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The research progress about the degradation pattern of carotenoid and the relationship between degradation mechanism with product were reviewed and summarized from physical degradation, chemical degradation and biodegradation. The biodegradation has a unique advantage, screening of microorganisms with high carotenoid degradation activity and application will become the focus of research in future.

Key words: carotenoid; degradation pattern; degradation mechanism

0 引言

类胡萝卜素广泛地存在于果类(菠萝、橘子、柠檬、葡萄、草莓等)、蔬菜(胡萝卜、西红柿、红辣椒等)、鲜花(金英花、水仙),以及一些昆虫和海洋动物中,是一类重要的香料前体物质^[1].其通常由8个类异戊二烯单元组成,是一类呈黄色、橙红色或红色的多烯类物质,主要指胡萝卜素和叶黄素这两大类天然色素^[2].胡萝卜素的化学结构中央有相同的多烯链,根据其两端的芷香酮环或基团的不同,可分为 α 、 β 、 γ 、 δ 、 ϵ 等多种异构体,其中分布最广的是 β -胡萝卜素^[3].而叶黄素是一类含氧类胡萝卜素的总称,包括叶黄素、玉米黄质、隐黄质、紫黄质、

辣椒红素等^[4],通过酶或光氧化可产生C-13, C-11, C-10, C-9衍生物,包括 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮、二氢猕猴桃内酯和 β -大马酮等重要的香料物质^[5].类胡萝卜素是许多重要香气成分的前体物质,在烟气香味品质的形成方面具有十分重要的作用.类胡萝卜素降解的研究对于其产物的应用尤其在制备香精和香料方面具有重要价值.目前,有学者通过化学或生物方法将外源类胡萝卜素降解后添加到烟丝中以提高卷烟的香气品质,取得了较好的效果^[6].然而,有关类胡萝卜素降解方式的综述还未见报道,因此,本文将主要以 β -胡萝卜素、叶黄素为例,拟从类胡萝卜素的物理降解、化学降解、生物降解及降解机理与降解产物的关系等方面对

收稿日期:2012-02-14

基金项目:郑州市科技攻关项目(10PTG339-2)

作者简介:许春平(1977—),男,河南省焦作市人,郑州轻工业学院教授,主要研究方向为生物催化与烟草工程。

相关研究进展进行综述与展望。

1 物理降解

目前报道的物理降解方法主要包括热降解和光降解。其中热降解又分为高温裂解和中低温裂解。关于类胡萝卜素的物理降解研究主要以 β -胡萝卜素居多。

J. Crouzet 等^[7]通过超声振荡的方法使长颈烧瓶中悬浮于 50 mL 蒸馏水中的 β -胡萝卜素形成悬浊液,而后密封烧瓶并用铝箔将烧瓶包裹好,于 97 °C 油浴中加热 0.4 ~ 5 h,或在 40 ~ 97 °C 油浴中加热 3 h。试验中,为使 β -胡萝卜素充分降解,在烧瓶密封前一般需要通入氧气直至达到饱和。结果发现,加热时间不同,得到产物也不一样,加热时间越长,其中间产物越少,产物为一系列的挥发性物质和一部分非挥发性物质。

杨伟祖等^[8]利用热裂解气相色谱质谱联用仪(GC-MS),在不同的裂解氛围(如在空气、氮气中含有 10% O₂ 及 N₂)和不同的温度(如 300 °C, 600 °C 和 900 °C)下,对 β -胡萝卜素进行裂解,研究烟草中 β -胡萝卜素的高温裂解产物对卷烟抽吸品质的影响。将固相微萃取装置吸附到的裂解产物用 GC-MS 进行分析,结果表明, β -胡萝卜素在不同裂解条件下主要的裂解产物是甲苯、对二甲苯、1,2,3,4-四氢-1,1,6-三甲基萘和 2,7-二甲基萘等化合物,另外还生成异佛尔酮、 β -环柠檬醛、 β -紫罗兰酮、二氢猕猴桃内酯等香味化合物,这些产物随着裂解温度和裂解氛围的不同其含量有所差异。

张永涛等^[9]用 Pyroprobel000 型裂解器对 β -胡萝卜素在 400 °C, 600 °C, 700 °C, 900 °C 下进行了裂解试验。裂解产物通过气相色谱-质谱联用法分析,结果发现, β -胡萝卜素的裂解进程因裂解温度不同而各异。裂解温度不同时,产物也不相同:400 °C 的特征产物为亚甲基环戊醇、2-乙基吡啶;600 °C 特征产物为 1-十一烯、3,3-三甲基-2-(2-甲基-环丙基)-环己烯;700 °C 特征产物为 9,10-二甲基-八氢化萘、2,2,6-三甲基环己酮;900 °C 特征产物为环十二烯、1,2,3-三甲基茚。除此之外,产物中还含有烟草常见致香物二氢猕猴桃内酯、二氢大马酮等。芳香物质多在 700 °C 之前出现,900 °C 时稠环化合物较多。

罗昌荣等^[10]分别对 β -胡萝卜素在 300 °C,

400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C 裂解时形成的产物进行研究。结果显示: β -胡萝卜素的高温裂解过程十分复杂,裂解产物也较复杂,一般是许多化合物的混合物。且裂解产物随裂解温度的不同而不同,在相对较低的温度下进行裂解时,形成的芳香物质种类较多且含量较高。逐渐升高裂解温度,得到的芳香物质的含量呈现减少趋势。600 °C 时,萘、蒽和菲等稠环化合物的含量增加较快,而 β -紫罗兰酮、二氢猕猴桃内酯则几乎完全消失;当温度继续升高时,主要产物为苯、甲苯、二甲苯、乙基苯等芳环化合物,以及萘、蒽和菲等稠环化合物。

S. Isoe 等^[11]在使用光敏剂和不使用光敏剂的条件,分别研究了 β -胡萝卜素的完全光氧化降解反应,结果为:将催化用的碱和玫瑰红加入 β -胡萝卜素的苯溶液和甲醇溶液中,之后用 30 W 的荧光灯照射 48 h,结束时溶液颜色由暗棕变成了淡红,这表明已经没有 β -胡萝卜素。有光敏剂存在的条件下,对 β -胡萝卜素的光氧化产物回收检测,得到的产物以二氢猕猴桃内酯为主,同时还有少量 β -紫罗兰酮、6-羟基-2,2,6-三甲基环己酮和一未知的内酯。在没有光敏剂的条件,其光氧化降解产物主要是 β -紫罗兰酮和很少的二氢猕猴桃内酯。

E. Demole 等^[12]研究 β -胡萝卜素的光照辐射氧化,得到了玉米黄素、脱氢胡萝卜素、隐黄素等产物。

2 化学降解

化学氧化降解方面,张成敏等^[13]研究了一种提取天然类胡萝卜素并制备烟用香料的方法。该法在充入惰性气体的条件下,将富含胡萝卜素的原料通过提取、浓缩、皂化、柱层析和结晶等工序后,得到类胡萝卜素,然后通过化学氧化降解得到致香成分。虽然最终降解得到致香成分的混合物,并作为香烟香料使用,但产物的化学组成状况没有具体说明。

缪明明等^[14]用乙醇为溶剂,取 0.2 g 自行分离提纯的叶黄素样品(浓缩液)加 0.1 g AgNO₃ 氧化剂和催化剂,通入空气氧化,加热回流 4 h,冷却后过滤得到淡黄色的降解产物。经 GC-MS 分析,在 AgNO₃ 催化下,叶黄素经空气氧化,降解成一系列醇酮类化合物:3-戊烯-2-庚酮、2,2,6-三甲基环己烯

-1-醇-醋酸酯、6-甲基-3-庚醇、3,5,5-三甲基环己酮、2,6-二甲基-2,6-庚二烯-4-酮、3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮、2,6-二甲基-2-庚烯-4-酮、5-甲基-3-己烯-2-酮、二羟基月桂烯醇。

刘金霞等^[15]设计了3种化学方法氧化降解叶黄素,并采用GC-MS对降解产物进行检测。研究发现,以95%的乙醇溶液作为反应溶剂,在 H_2O_2 , $AgNO_3$, $KMnO_4$ 的作用下,叶黄素的氧化降解产物分别确定为6种、12种、17种。其中二氢猕猴桃内酯、异佛尔酮、3-氧代紫罗兰酮为共有产物,相对含量最高的为二氢猕猴桃内酯。

古昆等^[16]研究设计了不同的化学降解方法,对叶黄素进行氧化降解,产物用GC-MS进行检测。从叶黄素的氧化产物来分析,化学降解方法与生物降解方法具有相似之处,如降解产物基本相同,大多是含9-13C的醛酮,且强氧化剂的氧化化效果更好。反应温度以常温为宜,加热则会损失一些小分子的香味物质。从研究结果来看,用化学氧化法在适当条件下对叶黄素进行降解,能够得到环氧紫罗兰酮、二氢猕猴桃内酯、氢化异佛尔酮、茶香螺酮等重要的香味物质。

3 生物降解

生物降解主要指利用微生物(真菌、细菌)或者某种酶制剂的分解作用,将类胡萝卜素降解转化成有用的小分子香味物质或某种香料前体物等。类胡萝卜素的生物氧化降解反应,或者酶催化氧化降解反应是重要的香气物质生成途径^[17]。类胡萝卜素的生物降解因其条件温和、效率高而越来越受到关注。J. Tischer^[18]在1936年研究报道了酶法氧化降解 β -胡萝卜素。

1999年,S. Aziz等^[19]用马铃薯脂肪氧化酶进行催化,研究了 β -胡萝卜素与亚油酸的协同氧化反应。结果表明, β -胡萝卜素的氧化速率跟两者的浓度有关,当 β -胡萝卜素与亚油酸物质的量之比为1:16时,酶的氧化速率最高。有关这一方面的报道还有很多,大部分集中在对天然果蔬中 β -胡萝卜素的酶降解反应和相应的酶的研究上。S. Baldermann等^[20]从市售成熟蜜桃的表皮中分离出了类胡萝卜素降解酶,并对该酶进行了部分表征,揭示了该酶的动力学常数(最大 n 值、米氏常数 K 、时间常

数、温度依赖性、活化能)。

李秀红等^[21]从胡萝卜中分离到了一株能降解 β -胡萝卜素产香的真菌,并通过GC-MS分析了其降解产物的挥发性成分。结果表明,产物中含有二氢猕猴桃内酯、2,2,6-三甲基-环己烷-1-酮、异佛尔酮、 α -环状柠檬醛、 β -环状柠檬醛等重要致香物质,其中二氢猕猴桃内酯含量为18%。该研究提供了一种全新的二氢猕猴桃内酯合成工艺。

H. Zorn等^[22]分离到50多株可能具有将 β , β -胡萝卜素降解为香味物质的能力的丝状真菌和酵母菌。其中10株能够使含有 β , β -胡萝卜素培养平板褪色,说明其具有较高的降解 β , β -胡萝卜素的能力。研究发现,二氢猕猴桃内酯是*Ganoderma applanatu*, *Hypomyces odoratus*, *Kuehneromyces mutabilis*, *Trametes suaveolens*转化 β , β -胡萝卜素的唯一产物,而*Ischnoderma benzoinum*, *Marasmius scorodoni*和*Trametes versicolor*的去除菌体后的发酵液能够催化 β , β -胡萝卜素转化生成 β -紫罗兰酮、 β -环柠檬醛、二氢猕猴桃内酯等重要的挥发性香味物质。此外,文章还通过光度漂白试验对*Marasmius scorodoni*的 β , β -胡萝卜素降解酶进行了部分表征。

A. Sanchez-Contreras等^[23]从万寿菊上分离到了菌株*Eotrichum sp.*和*Bacillus sp.*,将2种菌混合发酵能够转化降解叶黄素。研究发现,只有当2种菌同时存在时,才能生成有用的香味产物。通过GC-MS分析,产物主要有以下4种: β -紫罗兰酮、7,8-二氢- β -紫罗兰醇、7,8-二氢- β -紫罗兰酮、3-氢- β -紫罗兰酮。

A. P. Dion'sio等^[24]在含有 β -胡萝卜素的平板上分别接种表面长有微生物的直径约1cm的圆片,从中选出能够使平板褪色即产生透明圈的菌落进行液体发酵培养。在30℃,150r/min条件下摇床培养72h后,用乙醚:己烷为1:1的有机溶剂萃取。萃取物通过气相色谱仪结合火焰离子检测器分析,结果显示其中含有 β -紫罗兰酮。

4 降解机理与降解产物的关系

类胡萝卜素的降解产物与其降解方式、反应时间、反应温度等密切相关,不同的反应体系和反应条件所得到的反应产物也不同。

类胡萝卜素性质不稳定,易发生光分解、热裂解和酶催化降解等反应,对光、热、氧气等较敏感。

降解过程一般有过氧化酶和脂氧合酶的参与,有时还需要氧分子和辅助因子的激活.氧化产物一般是类胡萝卜素在单线态氧分子攻击下被分解而产生的氧化物中间体,经过进一步的分子重排后生成.当 β -胡萝卜素在不同的位置,如 C_6-C_7 , C_7-C_8 , C_8-C_9 和 C_9-C_{10} 等处发生键的断裂时,通常生成含9,10,11,13个碳原子的物质,常见的有 β -紫罗兰酮、 β -环柠檬酸、大马酮、二氢大马酮等香气物质^[25].

J. Crouzet 等^[7]研究发现 β -胡萝卜素在温和条件下的降解产物主要有2,6,6-三甲基环己酮、2-羟基-2,6,6-三甲基-2-环己醛、2,6,6-三甲基-2-环己烯酮、2-羟基-2,6,6-三甲基-2-环己酮、5,6-环氧- β -紫罗兰酮、 β -环柠檬醛、二氢猕猴桃内酯等挥发性物质,以及金色素、柠檬黄质、双环氧 β -胡萝卜素、5,6-环氧- β -胡萝卜素等非挥发性物质.

A. Sanchez-Contreras 等^[23]在叶黄素转化形成香味产物的研究中阐明了其产物形成的步骤.降解过程主要分为3步:1)叶黄素在脱羟基酶的作用下9,10位双键断裂,生成 β -紫罗兰酮和3-羟基- α -胡萝卜素;2)3-羟基- α -胡萝卜素在氧化酶的作用下被进一步氧化;3) β -紫罗兰酮被转化成3-羟基- β -紫罗兰酮或者在还原酶的作用下生成7,8-二氢- β -紫罗兰酮、7,8-二氢- β -紫罗兰醇.

5 展望

从现有类胡萝卜素降解方式的研究成果看,微生物降解方式具有独特优点:微生物种类多、含酶丰富,利用微生物可进行多种生物转化反应;生物转化反应具有高度选择性,可顺利地完一般化学方法难以实现的反应;反应条件温和,尤其适用于对热不稳定化合物的制备.但是,从目前的研究来看,用于类胡萝卜素生物降解及其香味产物研究的微生物并不多,所筛选出的高活性菌株更是稀少.因此,类胡萝卜素的生物降解菌株和高活性降解酶的筛选以及在工业化应用方面是今后研究的重点.

参考文献:

[1] John C. Carotenoids as flavour and fragrance precursors [J]. *Leffingwell Reports*, 2002, 2(3): 1.
[2] 李福枝,刘飞,曾晓希,等.天然类胡萝卜素的研究进展

[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(9): 227.
[3] 刘维涓. β -胡萝卜素降解反应研究进展[J]. *林产化学与工业*, 2008, 28(3): 122.
[4] 朱海霞,郑建仙. 叶黄素(Lutein)的结构、分布、物化性质及生理功能[J]. *中国食品添加剂*, 2005(5): 48.
[5] Marie F N, De Gaulejac N V, Nicolas V, et al. Characterization of carotenoids and degradation products in oak wood incidence on the flavour of wood[J]. *Comptes Rendus Chimie*, 2004(7): 689.
[6] 李爱军,代惠娟,娄本,等.烟草类胡萝卜素研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(6): 2364.
[7] Crouzet J, Kanasawud P. Formation of volatile compounds by thermal degradation of carotenoids [J]. *Methods in Enzymology*, 1992, 213: 54.
[8] 杨伟祖,谢刚,王保兴,等.烟草中 β -胡萝卜素的热裂解产物的研究[J]. *色谱*, 2006, 24(6): 611.
[9] 张永涛,刘惠芳,张东豫,等. β -胡萝卜素的热裂解研究[C]//中国烟草学会工业专业委员会烟草化学学术研讨会论文集,海南:中国烟草学会,2005:335-339.
[10] 罗昌荣,赵震毅,刘涵刚,等. β -胡萝卜素裂解温度对其裂解产物的影响[J]. *无锡轻工大学学报*, 2003, 22(3): 67.
[11] Isoe S, Hyeon S B, Sakan T. Photo-oxygenation of carotenoids(I)—The formation of dihydroactinidiolide and β -ionone from β -carotene [J]. *Tetrahedron Letters*, 1969, 10(4): 279.
[12] Demole E, Berther D. A chemical study of burley tobacco flavour (*Nicotiana tabacum* L) (I)—Volatile to medium-volatile constituents (b. p. $\leq 84^\circ/0.001$ Torr) [J]. *Helvetica Chimica Acta*, 1972, 55(6): 1866.
[13] 张成敏,缪明明,胡群.从提取的天然类的胡萝卜素制备烟用香料的方法:中国, CN 1242417A [P]. 2000-01-26.
[14] 缪明明,王昆文,李鲜,等.叶黄素的化学降解产物及机理研究[J]. *烟草科技*, 1998(2): 30.
[15] 刘金霞,李元实,姬小明,等.叶黄素氧化降解产物GC-MS分析及在卷烟加香中的应用[J]. *郑州轻工业学院学报:自然科学版*, 2011, 26(2): 24.
[16] 古昆,陈静波,刘玫,等.叶黄素的几类降解反应研究[J]. *化学研究与应用*, 1999, 11(5): 543.
[17] Winterhalter P, Rouseff R. Carotenoid-derived aroma compounds [M]. Washington DC: American Chemical Society, 2001.
[18] Tischer J. Carotenoids of freshwater algae (II)—The carotenoids and the formation of ionone in *Trentepohlia* and the erythritol contents of these algae [J]. *Z Physiol Chem*, 1936, 243: 103.

儿茶素的药理作用研究综述

徐先祥

(华侨大学 分子药物学研究所, 福建 泉州 362021)

摘要:对儿茶素及其类似化合物所具有的抗氧化、保护心血管、抗肿瘤、抗菌、抗病毒、抗炎、免疫调节、神经保护、调节糖脂代谢等药理作用进行了综述,指出其具有重要的医疗保健应用价值,儿茶素类的手性研究及其体内与金属离子、蛋白质等物质的相互作用将是今后研究开发的重点。

关键词:儿茶素;药理作用;抗氧化;抗肿瘤

中图分类号:R961 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.016

Review of research on pharmacological effects of catechins

XU Xian-xiang

(*Inst. of Molecular Medicine, Huaqiao Univ., Quanzhou 362021, China*)

Abstract: The research progress on the pharmacology of catechins and its analogues was reviewed from remarkable pharmacological activities such as antioxidation, cardioprotection, anticancer effect, antibiosis, antiviral, anti-inflammation, immunomodulation, neuroprotection, regulation of glucose and lipid metabolism and so on. It is indicated that catechins has the important medical care application value, future studies on catechins might focus on chiral resolutions and their interactions with metallic ions and proteins in vivo.

Key words: catechins; pharmacological effect; antioxidation; antitumor

0 引言

儿茶素(catechin)最初由儿茶得名,是一种黄烷醇型黄酮化合物^[1]。由于其具有光学异构体,儿茶素有时特指(+)-catechin,有时则是指儿茶素类化合物如表儿茶素 EC(epicatechin)、表没食子儿茶素 EGC(epigallocatechin)、儿茶素没食子酸酯 CG(catechin gallate)、表儿茶素没食子酸酯 ECG(epicatechin gallate)、表没食子儿茶素没食子酸酯 EGCG(epigallocatechin gallate)等的总称。儿茶素类化合物在绿茶等多种食物和药用植物中广泛分布。近年来研究表明儿茶素类物质具有多样药理活性,可在多种疾病

防治过程中发挥重要作用。本文拟对其抗氧化、保护心脑血管、抗肿瘤、抗菌、抗病毒、抗炎作用等方面进行综述。

1 儿茶素的药理作用

1.1 抗氧化作用

儿茶素具有很强的清除自由基和抗氧化的作用,该作用也是儿茶素其他药理作用的重要基础。文献[2-4]的研究表明:从厚叶岩白菜中首次分离的新儿茶素化合物(+)-catechin 3,5-di-O-gallate能强烈抑制人胰脂肪酶($IC_{50} = 0.42 \mu\text{g}/\text{mL}$),并显示出显著的自由基清除能力($SC_{50} = 1.04$

收稿日期:2012-02-13

基金项目:国家自然科学基金项目(30600821);华侨大学中央高校基本科研业务费"福建省杰出青年基金培育计划"专项(JB-SJ1012);泉州市科技计划项目(2011Z8)

作者简介:徐先祥(1978—),男,安徽省无为县人,华侨大学副研究员,博士,主要研究方向为中药药理学。

$\mu\text{g}/\text{mL}$)^[2]. (+) - 儿茶素比 (-) - 儿茶素更能有效阻止杂环胺引起的 DNA 氧化损伤^[3]. 儿茶素对红细胞溶血和血清自氧化均具有很好的保护作用,并能有效抑制肝匀浆自发性和 Fe^{2+} 诱导性脂质过氧化^[4].

1.2 保护心脑血管作用

文献[5-9]的研究表明:儿茶素对大鼠脑缺血-再灌注损伤有保护作用,并降低脑组织中髓过氧化物酶(MPO)和一氧化氮合酶(NOS)的活性^[5]. EGCG 或 GCG 能够抑制动物心脏缺血再灌注损伤,主要作用靶点包括 NO, 活性氧自由基及生物性氧化还原反应系统^[6]. 儿茶素可缩小平均动脉粥样硬化斑块面积达到 32%,但对血浆和肝脏总胆固醇和甘油三酯没有影响. 此外,儿茶素还能下调粘附分子, CD_{34} 和 PSGL-1 的基因表达,下调有关能量和脂质代谢的基因表达^[7]. 儿茶素能降低自发性 II 型糖尿病大鼠血压、空腹血糖和胰岛素水平,减少大动脉中内皮活性氧(ROS)生成,降低 NADPH 氧化酶活性^[8]. 负载入血小板中的 EGCG 对血小板各种生理功能有明显的影响,降低血小板的聚集活性,负载 EGCG 后的血小板更易发生细胞程序性死亡^[9].

1.3 抗肿瘤作用

文献[10-18]的研究表明:绿茶儿茶素可以抑制癌细胞增殖,诱导其凋亡,儿茶素单体间作用效果存在差异,EGC 和 CG 抗胰腺导管癌细胞增殖作用明显,作用均强于 EGCG^[10]. 绿茶儿茶素可通过干预活性氧诱导的 ERK 信号途径活化减少乳腺癌形成危险^[11]. 有研究发现(-) - EGCG, (-) - ECG 和 (-) - EC 在功能和结构上与分子伴侣相似,由此推测绿茶儿茶素通过分子伴侣样特性产生抗癌活性^[12]. 儿茶素能引起 caspase 依赖性的肿瘤细胞坏死状凋亡^[13]. EGCG 则是凋亡基因 p53 的强烈诱导剂^[14],另外直接结合于 actin 类蛋白并破坏细胞骨架可能是 EGCG 诱导肿瘤细胞凋亡的途径之一^[15]. EGCG 对不同器官的肿瘤均有抑制作用,机制涉及 JAK/STAT, MAPK, PI3K/AKT, Wnt 和 Notch 多个细胞信号途径,还可以抑制端粒酶活性^[16]. 此外,EGCG 的抗癌活性还至少部分地与抑制特受体酪氨酸激酶活化有关^[17]. EGCG 能抑制肿瘤血管生成,减弱细胞内基质金属蛋白酶 MMP-2 的活性,降低其 mRNA 转录和表达^[18].

1.4 抗菌、抗病毒作用

文献[19-22]的研究表明:儿茶素可增加细菌细胞膜的通透性,造成胞内蛋白质和糖类物质的渗漏,使细菌代谢发生紊乱,对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的最小抑菌浓度(MIC)分别为 0.32 g/L 和 1.25 g/L^[19]. EGCG 可用于治疗厌氧菌释放挥发性硫化物引起的口臭^[20]. EGCG 具有很好的体外抗柯萨奇病毒 3(CVB₃)的作用,可直接灭活病毒和抗 CVB₃ 生物合成,治疗指数 TI 分别为 8.7 和 15.3,高浓度 EGCG 能阻止 CVB₃ 的吸附,其抗病毒方式是多途径的^[21]. EGCG 能够抑制 HIV-1 病毒糖蛋白 gp120 与 CD₄ 分子的粘附,降低艾滋病病毒的感染性^[22].

1.5 抗炎作用

文献[23-28]的研究表明:儿茶素可降低佐剂性关节炎大鼠的继发性炎症,抗炎作用与调节前列腺素 E₂(PGE₂)和环磷酸腺苷(cAMP)水平及抑制前炎因子分泌有关^[23]. 血管细胞粘附分子介导(VCAM-1)的血管炎性病变是动脉粥样硬化等疾病的病理基础,儿茶素能降低氧化修饰的 LDL(ox-LDL)诱导的巨噬细胞 VCAM-1 的表达,这可能是其发挥抗动脉粥样硬化药效的另一机制^[24]. EGCG 能降低炎症反应,减少中性粒细胞和肥大细胞浸润,降低纤维化,对改善闭塞性气道疾病具有巨大潜力^[25]. EGCG 抑制哮喘模型小鼠呼吸道变应性炎症,其作用途径可能是通过诱导 T 细胞的产生和白细胞介素-10(IL-10)的分泌,进而抑制 Th2 型免疫反应^[26]. EGCG 膏剂涂敷烫伤皮肤能抑制烫伤组织肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和 IL-1 的表达,减弱创伤组织的炎症反应,有助于创伤组织的修复^[27]. EGCG 和 ECG 能降低细菌脂多糖(LPS)或肽聚糖引起的牙髓组织炎症^[28].

1.6 神经保护作用

文献[29-34]的研究表明:绿茶儿茶素对高脂饲料小鼠脑有保护作用^[29]. ECG 能提高老年大鼠脑组织线粒体抗氧化性^[30]. EGCG 能显著降低脊髓损伤大鼠血清炎症因子 IL-6, IL-8 的浓度,促进脊髓组织内源性神经营养因子-3、脑源性神经营养因子的表达^[31]. EGCG 可降低 β -淀粉样物质引起的 Alzheimer 转基因小鼠认知功能损伤^[32],可减少滴滴涕(DDT)诱导的 SHSY-5Y 多巴胺神经元细胞死亡^[33]. 儿茶素能保护 1-甲基-4-苯基-1,2,3,6

-四氢吡啶(MPTP)引起的黑质多巴胺神经元的毒性损伤,恢复小鼠纹状体中多巴胺的耗减,抑制 JNK 和 GSK-3 β 信号通路的活化^[34]。

1.7 肝保护作用

文献[35-38]的研究表明:EGCG 和儿茶素能影响酒精的氧化应激损伤的不同方面,减轻酒精引起的肝损伤^[35]。绿茶儿茶素能通过抑制氧化应激和肝星状细胞转录因子表达,减少肝纤维化^[36]。EGCG 能够降低肝脏中四氯化碳(CCl₄)诱导的肝炎、氧化应激及纤维化作用,其作用机制是降低了致炎因子及纤维化调节因子的转录表达^[37]。EGCG 可通过促进人源肝星状细胞株 LX-2 细胞中 STAT1 磷酸化以及二聚体形成,并增加干扰素- γ (IFN- γ)的表达抑制肝星状细胞功能,发挥抗肝纤维化作用^[38]。

1.8 肾保护作用

文献[39-40]的研究表明:儿茶素可有效阻止 5/6 肾切除大鼠肾脏微血管密度的减少,抑制肾小球硬化与肾间质纤维化的进展,这可能与儿茶素抑制血管紧张素活化酶(ACE)的活性,减少血管紧张素 II(Ang II)的生成有关^[39]。EGCG 对单侧输尿管梗阻所致的大鼠肾脏纤维化的形成有明显的抑制作用,能减轻胶原在肾间质的沉积,改善肾脏病理改变,其作用可能跟降低转化生长因子- β (TGF- β)的表达,阻止细胞损伤有关^[40]。

1.9 减肥、抗糖尿病作用

文献[41-46]的研究表明:儿茶素能降低高脂饮食肥胖大鼠模型大鼠体重,降低血脂和血糖^[41]。长期服用 EGCG 可以降低高脂饮食引起的小鼠肥胖,机制可能与减少脂肪吸收及促进脂肪分解有关^[42]。绿茶儿茶素在体外能抑制 α -糖苷酶和组织糖原磷酸化酶,有益于 II 型糖尿病的防治^[43]。绿茶儿茶素可抑制 3T3-L1 前脂肪细胞向脂肪细胞分化,其中以 CG 和 ECG 作用最强,这 2 种儿茶素不影响胰岛素信号途径的磷酸化,但能下调 PPAR γ , C/EBP α 和 GLUT4 转录因子的表达^[44]。EGCG 可以改善自发性 II 型糖尿病大鼠胰岛素抵抗,其作用机制可能与抑制肝脏糖异生作用以及骨骼肌 GLUT4 的转位水平有关,EGCG 还具有代偿胰岛素的作用^[45]。(-)-儿茶素可促进脂肪细胞分化,增强胰岛素敏感性,机制部分由于直接活化 PPAR γ ,而(+)-儿茶素则无 PPAR γ 激动剂样作用,表明表儿茶素对 PPAR γ 的作用具有立体专一性^[46]。

1.10 其他作用

文献[47-50]的研究表明:儿茶素能通过其抗氧化活性和黏液保护作用,保护缺血-再灌注引起的胃黏膜损伤^[47]。儿茶素可明显促进小鼠造血祖细胞的增殖,并可与造血生长因子起协同效应,具有明显的造血促进作用^[48]。绿茶儿茶素能通过抑制 IL-1 β 产生或直接抑制破骨细胞,减轻 LPS 导致的骨重吸收^[49]。儿茶素对“毒死蜱”引起的大鼠毒性损伤有保护作用^[50]。

2 结语

儿茶素生物活性显著、药理作用广泛。近年来对儿茶素类物质的药理活性的研究越来越多,显示其多样的生物活性对多种疾病的防治具有重要价值,此外儿茶素与其他抗癌药联合使用具有增效特点,作为抗癌辅助治疗具有广阔的前景。然而儿茶素类成分复杂,自身具有易氧化、易降解的生物学特性,体内外的研究结果并不完全一致,儿茶素类的手性研究及其体内与金属离子、蛋白质等物质的相互作用可能是今后研究的重点。鉴于儿茶素类物质具有优越的保健功能,各种儿茶素现已作为食品添加剂、化妆品功能成分被广泛使用,但目前儿茶素类作为单独药物应用于临床还有一定距离。相信随着构效关系、作用机制、代谢动力学等研究的深入,儿茶素类物质的药理活性能得到进一步的提高,应用领域可得到进一步拓展。

参考文献:

- [1] 尹志萍,张古英,王建军. 儿茶及儿茶素的研究进展[J]. 河北医药,2008,30(3):360.
- [2] Ivanov S A, Nomura K, Malfanov I L, et al. Isolation of a novel catechin from *Bergenia* rhizomes that has pronounced lipase-inhibiting and antioxidative properties[J]. *Fitoterapia*, 2011, 82: 212.
- [3] Haza A I, Morales P. Effects of (+)-catechin and (-)-epicatechin on heterocyclic amines-induced oxidative DNA damage[J]. *J Appl Toxicol*, 2011, 31: 53.
- [4] 赵文红,邓泽元,范亚苇,等. 儿茶素体外抗氧化作用的研究[J]. 食品科技,2009,34(12):278.
- [5] 刘珊珊,刘宗文,卢沛琦,等. 儿茶素对大鼠脑缺血/再灌注损伤的保护作用及机制[J]. 中国药理学通报, 2010, 26(2): 255.
- [6] Masaya H, Yoshihiro H, Naohisa I, et al. Protective effects of EGCG or GCG, a green tea catechin epimer, against

- postischemic myocardial dysfunction in guinea-pig hearts [J]. *Life Sciences*, 2007, 80:1020.
- [7] Auclair S, Milenkovic D, Besson C, et al. Catechin reduces atherosclerotic lesion development in apo E-deficient mice; A transcriptomic study [J]. *Atherosclerosis*, 2009, 204(2):e21.
- [8] Ihm S H, Lee J O, Kim S J, et al. Catechin prevents endothelial dysfunction in the prediabetic stage of OLETF rats by reducing vascular NADPH oxidase activity and expression [J]. *Atherosclerosis*, 2009, 206(1):47.
- [9] 房磊, 王捷熙, 刘敏霞, 等. 负载表没食子儿茶素没食子酸酯对血小板功能与凋亡等影响 [J]. *中国实验血液学杂志*, 2011, 19(3):764.
- [10] Kürbitz C, Heise D, Redmer T, et al. Epicatechin gallate and catechin gallate are superior to epigallocatechin gallate in growth suppression and anti-inflammatory activities in pancreatic tumor cells [J]. *Cancer Sci*, 2011, 102:728.
- [11] Rathore K, Choudhary S, Odoi A, et al. Green tea catechin intervention of reactive oxygen species-mediated ERK pathway activation and chronically induced breast cell carcinogenesis [J]. *Carcinogenesis*, 2012, 33:174.
- [12] Kuzuhara T, Suganuma M, Fujiki H. Green tea catechin as a chemical chaperone in cancer prevention [J]. *Cancer Lett*, 2008, 261:12.
- [13] Iwasaki R, Ito K, Ishida T, et al. Catechin, green tea component, causes caspase-independent, necrosis-like cell death in chronic myelogenous leukemia [J]. *Cancer Sci*, 2009, 100:349.
- [14] Rieko Y, Kaori S, Kenichi Y, et al. Identification of epigallocatechin-3-gallate in green tea polyphenols as a potent inducer of p53-dependent apoptosis in the human lung cancer cell line A549 [J]. *Toxicology in Vitro*, 2009, 23:834.
- [15] 周晓, 王晔恺, 周吉航, 等. 表没食子儿茶素没食子酸酯对Hela细胞的诱导凋亡作用及靶点蛋白质研究 [J]. *中华中医药学刊*, 2012, 30(1):194.
- [16] Singh B N, Shankar S, Srivastava R K. Green tea catechin, epigallocatechin-3-gallate (EGCG): Mechanisms, perspectives and clinical applications [J]. *Biochem Pharmacol*, 2011, 82:1807.
- [17] Shimizu M, Shirakami Y, Moriwaki H. Targeting receptor tyrosine kinases for chemoprevention by green tea catechin EGCG [J]. *Int J Mol Sci*, 2008(9):1034.
- [18] Troparna S, Shuvojit M, Anindita D, et al. Multifunctional effect of epigallocatechin-3-gallate (EGCG) in downregulation of gelatinase-A (MMP-2) in human breast cancer cell line MCF-7 [J]. *Life Sciences*, 2009, 84:194.
- [19] 曾亮, 黄建安, 李赤翎, 等. 儿茶素的抑菌效果及机理研究 [J]. *食品工业科技*, 2009, 30(5):89.
- [20] Xu X, Zhou X D, Wu C D. Tea catechin EGCG suppresses the *mgl* gene associated with halitosis [J]. *J Dent Res*, 2010, 89:1304.
- [21] 石丽桥, 杨自文, 王开梅, 等. 表没食子儿茶素没食子酸酯体外抗柯萨奇病毒的实验研究 [J]. *时珍国医国药*, 2011, 22(8):1945.
- [22] Nance C L, Siwak E B, Shearer W T. Precinical development of the green tea catechin epigallocatechin gallate as an HIV-1 therapy [J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2009, 123:459.
- [23] Tang L Q, Wei W, Wang X Y. Effects and mechanisms of catechin for adjuvant arthritis in rats [J]. *Adv Ther*, 2007, 24:679.
- [24] 赵兴梅, 范春雷. 儿茶素对小鼠巨噬细胞 VCAM-1 表达的影响 [J]. *中国药理学通报*, 2011, 27(3):443.
- [25] Liang O D, Kleibrink B E, Schuette-Nuetgen K, et al. Green tea epigallo-catechin-gallate ameliorates the development of obliterative airway disease [J]. *Exp Lung Res*, 2011, 37:435.
- [26] 吴奎, 陈章, 毕玉田, 等. 表没食子儿茶素没食子酸酯对哮喘小鼠呼吸道变应性炎症作用的研究 [J]. *国际检验医学杂志*, 2011, 32(15):1673.
- [27] 张江江, 贾永芳, 李嘉雯, 等. 表没食子儿茶素-3-没食子酸酯抑制 TNF- α 和 IL-1 在小鼠皮肤烫伤修复期间的表达 [J]. *中国生物化学与分子生物学报*, 2011, 27(2):168.
- [28] Nakanishi T, Mukai K, Yumoto H, et al. Anti-inflammatory effect of catechin on cultured human dental pulp cells affected by bacteria-derived factors [J]. *Eur J Oral Sci*, 2010, 118:145.
- [29] Unno K, Yamamoto H, Maeda K, et al. Protection of brain and pancreas from high-fat diet: Effects of catechin and caffeine [J]. *Physiol Behav*, 2009, 96:262.
- [30] Srividhya R, Zarkovic K, Stroser M, et al. Mitochondrial alterations in aging rat brain: Effective role of (-)-epigallocatechin gallate [J]. *Int J Dev Neurosci*, 2009, 27:223.
- [31] 邓凤君, 杨迎暴, 徐江平, 等. 表没食子儿茶素没食子酸酯对脊髓损伤大鼠炎症因子释放及神经营养因子表达的影响 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2010, 16(5):195.
- [32] Kavon R Z, Arendash G W, Hou H Y, et al. Green tea epigallocatechin-3-gallate (EGCG) reduces β -amyloid mediated cognitive impairment and modulates tau pathology in Alzheimer transgenic mice [J]. *Brain Res*, 2008, 1214:

- 177.
- [33] Tai K K, Truong D D. (-)-epigallocatechin-3-gallate (EGCG), a green tea polyphenol, reduces dichlorodiphenyl-trichloroethane (DDT)-induced cell death in dopaminergic SHSY-5Y cells [J]. *Neurosci Lett*, 2010, 482:183.
- [34] Ruan H, Yang Y, Zhu X, et al. Neuroprotective effects of (+ / -)-catechin against 1-methyl-4-phenyl-1, 2, 3, 6-tetrahydropyridine (MPTP)-induced dopaminergic neurotoxicity in mice [J]. *Neurosci Lett*, 2009, 450:152.
- [35] Oliva J, Bardag-Gorce F, Tillman B, et al. Protective effect of quercetin, EGCG catechin and betaine against oxidative stress induced by ethanol in vitro [J]. *Exp Mol Pathol*, 2011, 90:295.
- [36] Kobayashi H, Tanaka Y, Asagiri K, et al. The antioxidant effect of green tea catechin ameliorates experimental liver injury [J]. *Phytomedicine*, 2010, 17:197.
- [37] Tipoe G L, Leung T M, Liong E C, et al. Epigallocatechin-3-gallate (EGCG) reduces liver inflammation, oxidative stress and fibrosis in carbon tetrachloride (CCl₄)-induced liver injury in mice [J]. *Toxicology*, 2010, 273:45.
- [38] 刘逸飞, 胡玲娜, 吴兴新, 等. 表没食子儿茶素没食子酸酯对肝星状细胞 LX-2 中 STAT1 信号的影响 [J]. *中药新药与临床药理*, 2011, 22(4):355.
- [39] 曹艳, 何小解, 向伟, 等. 儿茶素对 5/6 肾切除大鼠肾脏微血管的保护作用及其机制 [J]. *中西医结合学报*, 2009, 7(6):557.
- [40] 冯江超, 邵志成, 罗治彬, 等. 表没食子儿茶素没食子酸酯对肾间质纤维化大鼠的保护作用 [J]. *中国老年学杂志*, 2011, 31(7):1175.
- [41] 谷芳芳, 孙跃, 许刚. 儿茶素对营养性肥胖大鼠代谢综合征的防治作用 [J]. *实用医药杂志*, 2010, 27(9):830.
- [42] Klaus S, Pültz S, Thne-Reineke C, et al. Epigallocatechin gallate attenuates diet-induced obesity in mice by decreasing energy absorption and increasing fat oxidation [J]. *Int J Obes (Lond)*, 2005, 29:615.
- [43] Kamiyama O, Sanae F, Ikeda K, et al. In vitro inhibition of α -glucosidases and glycogen phosphorylase by catechin gallates in green tea [J]. *Food Chem*, 2010, 122:1061.
- [44] Furuyashiki T, Nagayasu H, Aoki Y, et al. Tea catechin suppresses adipocyte differentiation accompanied by down-regulation of PPAR γ 2 and C/EBP α in 3T3-L1 cells [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2004, 68:2353.
- [45] 赵先哲, 乔伟伟. 表没食子儿茶素没食子酸酯对大鼠胰岛素抵抗的影响 [J]. *中国实验动物学报*, 2011, 19(6):489.
- [46] Shin D W, Kim S N, Lee S M, et al. (-)-Catechin promotes adipocyte differentiation in human bone marrow mesenchymal stem cells through PPAR γ transactivation [J]. *Biochem Pharmacol*, 2009, 77:125.
- [47] Rao C V, Vijayakumar M. Protective effect of (+)-catechin against gastric mucosal injury induced by ischaemia-reperfusion in rats [J]. *J Pharm Pharmacol*, 2007, 59:1103.
- [48] 闫丽莎, 刘屏, 王东晓, 等. 儿茶素对小鼠造血祖细胞的刺激增殖作用 [J]. *中国药师*, 2008, 11(5):492.
- [49] Nakamura H, Ukai T, Yoshimura A, et al. Green tea catechin inhibits lipopolysaccharide-induced bone resorption in vivo [J]. *J Periodontol Res*, 2010, 45:23.
- [50] Kalender Y, Kaya S, Durak D, et al. Protective effects of catechin and quercetin on antioxidant status, lipid peroxidation and testis-histoarchitecture induced by chlorpyrifos in male rats [J]. *Environ Toxicol Pharmacol*, 2012, 33:141.

流动相和流速对高效液相色谱分析果糖嗪的影响

程传玲¹, 宋辉¹, 汪文良², 王建民¹

(1. 郑州轻工业学院 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002;

2. 红云红河烟草(集团)有限公司 红河卷烟厂, 云南 红河 652300)

摘要:采用高效液相色谱方法,考察了流动相和流速对果糖嗪定性分析结果的影响.结果表明在确定 Waters Carbohydrate Analysis 为分离柱,检测波长为 275 nm,进样量为 10 μ L 条件下,流动相为乙腈与水,其体积比为 80:20,流速为 1.0 mL/min 时,定性分析效果最佳.

关键词:果糖嗪;高效液相色谱分析;流动相;流速

中图分类号:O656.22 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.017

The effect of mobile phase and flow rate on the qualitative analysis of fructosazine with high performance liquid chromatography

CHENG Chuan-ling¹, SONG Hui¹, WANG Wen-liang², WANG Jian-min¹

(1. College of Food and Bioeng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China;

2. Honghe Cigarette Factory, Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Honghe 652300, China)

Abstract: The effect of mobile phase and flow rate on the qualitative analysis of fructosazine with high performance liquid chromatography was investigated. The results showed that the effect of qualitative analysis was the best using acetonitrile and water as mobile phase (80:20, V/V) and flow rate 1.0 mL/min under condition as follows: Water Carbohydrate Analysis works as separation column, detection wavelength is 275 nm, and the volume of injection is 10 μ L.

Key words: fructosazine; high performance liquid chromatography analysis; mobile phase; flow rate

0 引言

果糖嗪在多种植物中均有存在^[1-3],是烟草中一类重要的潜香类化合物.果糖嗪在烟草中的含量虽然比较低(质量分数 $\leq 0.1\%$)^[4],但是对卷烟感官品质有显著的影响,需要对其进行系统的研究.国外关于果糖嗪在烟草上的应用研究,出于商业保

密的原因,一直未予公开,只有一些合成和物化性质的基础性研究成果.国内没有烟草中果糖嗪的分析方法,而对脱氧果糖嗪的分析方法报道较多,如卢斌斌等^[1]、樊瑛等^[5]采用的高效液相色谱法.黎艳玲等^[6]用硅烷衍生化后用 GC/MS 法分析糖胺反应中的脱氧果糖嗪,但因衍生化不完全,未反应的硅烷化试剂使得质谱离子源被硅烷基覆盖,导致质

收稿日期:2011-12-21

基金项目:河南省科技厅科技攻关(重点项目)(102102210135)

作者简介:程传玲(1977—),女,河南省唐河县人,郑州轻工业学院副教授,博士,主要研究方向为烟草化学和烟气分析.

谱响应信号发生改变,该方法不适宜作为果糖嗪和脱氧果糖嗪的分析方法.

本文拟参考文献[1,5]的方法,采用高效液相色谱方法对果糖嗪进行定性分析,选取 Waters Carbohydrate Analysis 柱(10 μm,3.9 mm×300 mm),检测波长 275 nm,进样量 10 μL,改变流动相的比例和流速的大小,从而对其进行优化选择.

1 实验

1.1 材料与设备

材料:果糖嗪(自制,纯度 95% 以上);乙腈(色谱纯),天津市康科德科技有限公司产;超纯水(HPLC 用水),郑州永盛净化设备有限公司产.

设备:Waters 1525 Binary HPLC Pump(Waters UV/visible 检测器)高效液相色谱仪,美国 Waters 公司产;Waters Carbohydrate Analysis 柱(10 μm,3.9 mm×300 mm),微量注射器(10 μL),上海天美科学仪器有限公司产;电子天平,瑞士梅特勒托利多公司产.

1.2 溶液制备方法

取 100 mg 果糖嗪标样溶解于 20 mL 容量瓶,用超纯水定容至刻度,作为母液,浓度为 5 mg/mL.从母液中吸取一定量溶液依次稀释,配制成浓度为 0.01 mg/mL 的果糖嗪三级标液,作为本实验所采用的标准溶液.

2 结果与讨论

分别在 1.0 mL/min 和 2.0 mL/min 的流速下,改变乙腈与水的比例(本实验中的比例均指体积比),对果糖嗪进行高效液相色谱分析.采用标准加入法与空白对照的方式确定样品中果糖嗪的定性位置.

采用全析因的实验设计方法,流速的水平为 1.0 mL/min 和 2.0 mL/min,乙腈与水的体积比从 75:25 调整到 90:10,得到的结果见图 1—图 8.图中后一个峰,通过核磁共振和高分辨质谱确定为果糖嗪,前一个峰为杂质峰.

由图 1 可知,当流速为 2 mL/min,乙腈:水 = 75:25 时,在 6.082 min 出峰.该条件下出峰时间太短,分离不够,样品峰将出现严重重叠,不适宜作为样品的分析条件.

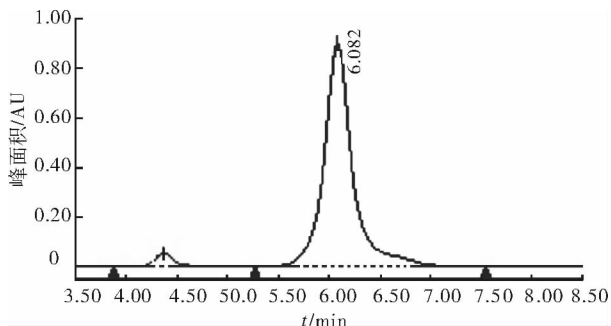


图 1 流速 2 mL/min,乙腈:水 = 75:25 时果糖嗪的 HPLC 图

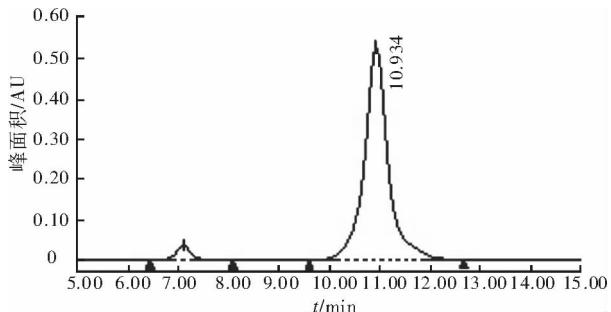


图 2 流速 2 mL/min,乙腈:水 = 80:20 时果糖嗪的 HPLC 图

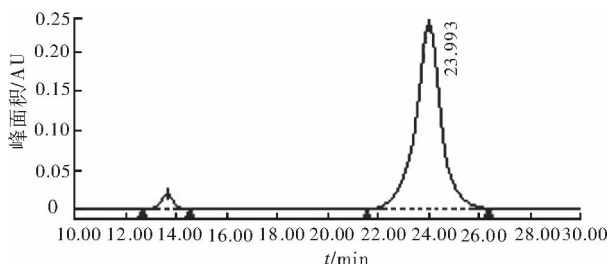


图 3 流速 2 mL/min,乙腈:水 = 85:15 时果糖嗪的 HPLC 图

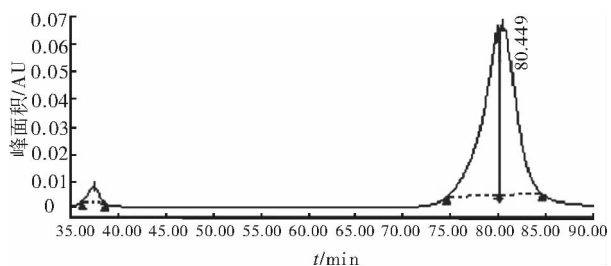


图 4 流速 2 mL/min,乙腈:水 = 90:10 时果糖嗪的 HPLC 图

80:20 时,在 10.934 min 出峰.该条件下出峰时间稍好,但分离不够,样品峰将出现部分重叠,不适宜作为样品的分析条件.

由图 3 可知,当流速为 2 mL/min,乙腈:水 = 85:15 时,在 23.993 min 出峰.该条件下出峰时间较好,分离较好,较适宜作为样品的分析条件.

由图 2 可知,当流速为 2 mL/min,乙腈:水 =

由图4可知,当流速为2 mL/min,乙腈:水 = 90:10时,在80.449 min出峰.出峰太慢,所需时间太长,溶剂消耗太多.

相关外文文献中推荐的条件为流速2 mL/min,乙腈:水 = 85:15,但所用的糖柱型号有差别.由上述的实验可以知道,随着水的比例上升,出峰时间提前,分离度减小,分析时间变短.但是对于样品而言,出的峰会比较密集,分不开,无法进行定性或定量分析.因此,在2 mL/min的流速下,85:15和80:20这2个比例比较合适,尤其以85:15更为优越,与文献吻合.出峰时间在24.00 min左右,可以使样品中的各个峰分得比较开.但2 mL/min流速下乙腈消耗稍多,相对地提高了实验的成本;且流速偏大,对柱子有较大的损害,不适宜大量样品的分析.所以本文降低流速,对其进行研究.

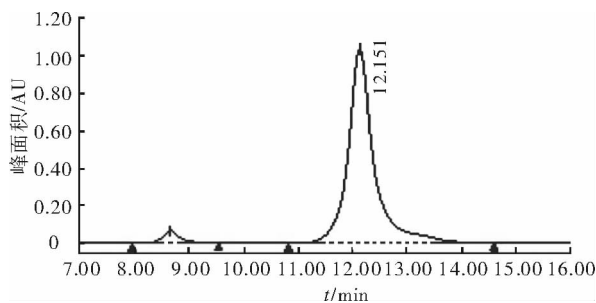


图5 流速1 mL/min,乙腈:水 = 75:25时果糖嗪的HPLC图

由图5可知,当流速为1 mL/min,乙腈:水 = 75:25时,在12.151 min出峰.该条件下出峰时间太短,分离不够,样品峰出现严重重叠,不适宜作为样品的分析条件.

由图6可知,当流速为1 mL/min,乙腈:水 = 80:20时,在22.223 min出峰.该条件下出峰时间较好,分离较好,适宜作为样品的分析条件.

由图7可知,当流速为1 mL/min,乙腈:水 = 85:15时,在50.494 min出峰.该条件下虽然分离完全,但出峰时间较长,不太适宜作为样品的分析条件.

由图8可知,当流速为1 mL/min,乙腈:水 = 90:10时,在接近100 min的时间内均未出现样品峰(前面很早出的峰有可能是柱子里残存的杂质),通过加大流量的洗脱,出现了样品峰(图中未显示),但时间太长,不适宜作为样品的分析条件.

通过上述实验可以发现:在流速为2 mL/min,

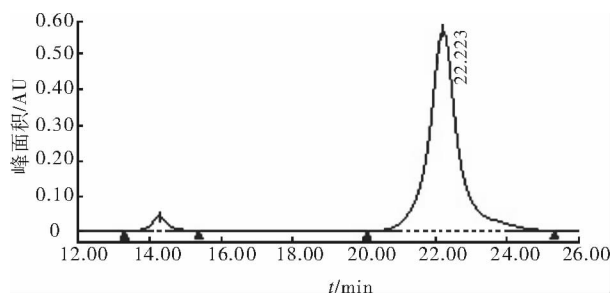


图6 流速1 mL/min,乙腈:水 = 80:20时果糖嗪的HPLC图

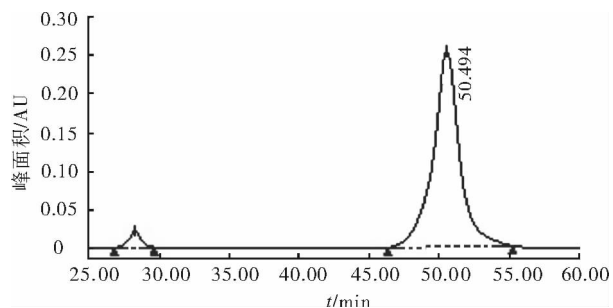


图7 流速1 mL/min,乙腈:水 = 85:15时果糖嗪的HPLC图

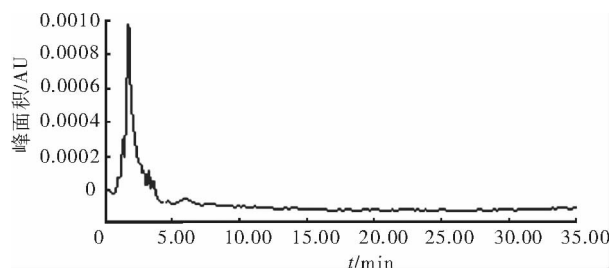


图8 流速1 mL/min,乙腈:水 = 90:10时果糖嗪的HPLC图

乙腈:水 = 85:15的条件下,以及流速为1 mL/min,乙腈:水 = 80:20的条件下结果均较好.出峰时间较为接近,分离效果也很接近.从成本的角度考虑,采用后一种条件可减少乙腈的用量,起到降低成本与危害的双重作用.故本实验采用流速为1 mL/min,乙腈:水 = 80:20的条件作为流动相的最终条件.

为确定上述结论,采取标准加入法验证该条件是否也适宜样品的分析.对烟草中果糖嗪进行超声提取,其工艺为:将1.2 g烟草样品放入50 mL的三角烧瓶中,加入20 mL超纯水进行超声萃取,时间40 min,过滤.取一定量的滤液过微孔滤膜,然后进行高效液相分析.实验结果见图9和图10.

由图9和图10可见,加标实验结果进一步验证了烟叶样品中含有微量的果糖嗪,且在上述优化条件下样品中无其他物质对果糖嗪的定性产生干扰.

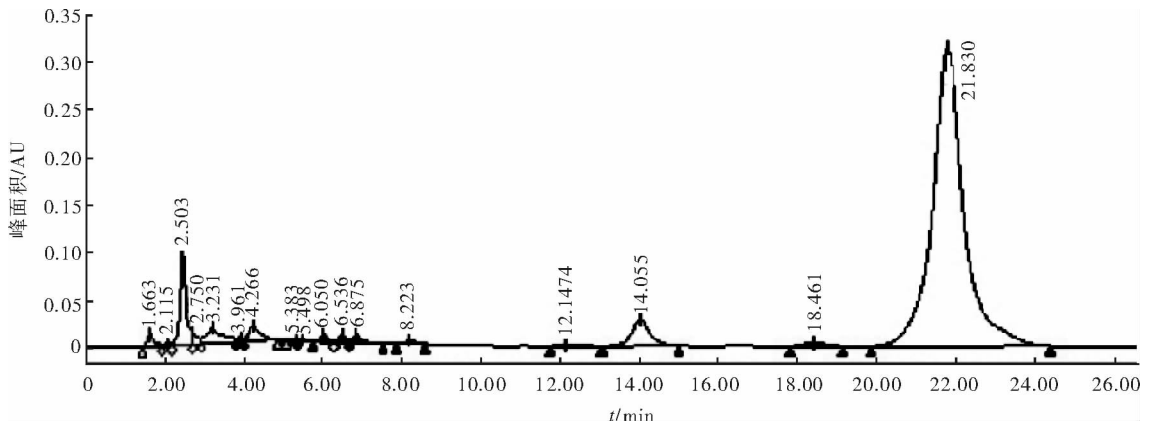


图9 流速 1 mL/min, 乙腈: 水 = 80: 20 样品加标时果糖嗪的 HPLC 图

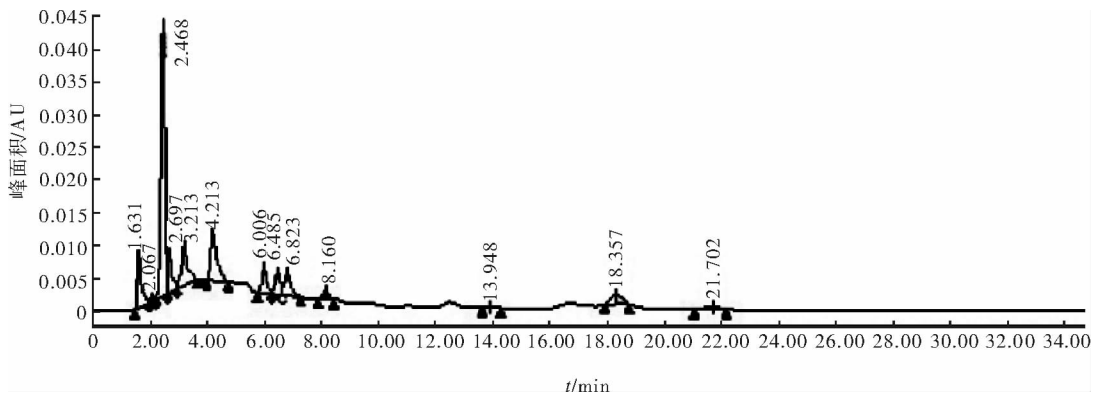


图10 流速 1 mL/min, 乙腈: 水 = 80: 20 样品不加标时果糖嗪的 HPLC 图

最终确定流动相的条件为:分离柱选用 Waters Carbohydrate Analysis 柱(10 μm , 3.9 mm \times 300 mm);流动相为乙腈: 水 = 80: 20, 流速 1.0 mL/min;检测波长 275 nm;进样量 10 μL .

3 结论

本文通过考察流动相和流速对果糖嗪定性分析的影响,确定了最佳分析条件:当分离柱为 Waters Carbohydrate Analysis 柱(10 μm , 3.9 mm \times 300 mm),检测波长为 275 nm,进样量为 10 μL 条件下,采用流动相为乙腈: 水 = 80: 20,流速为 1.0 mL/min 效果最佳.通过初步的实验可知,果糖嗪在烟草中的含量很低.

参考文献:

[1] 卢斌斌,李鹏,谢剑平,等.烟草及烟草制品中脱氧果

糖嗪含量分析[J].香料香精化妆品,2009,3(6):5.

[2] 李琦,叶韵华,闫爱新,等.三7中2-(1',2',3',4'-四羟基丁基)-6-(2',3',4'-三羟基丁基)-吡嗪的分离、鉴定及药理活性研究[J].高等学校化学学报,2001,22(11):1824.

[3] 秦文娟,马立斌.掌叶半夏化学成分的研究[J].中草药,1995,26(1):3.

[4] Fujii S, Kikuchia R, Kushida H. Formation of fructosazine [J]. J of Organic Chem, 1966, 31(7): 2239.

[5] 樊瑛,孟昭宇,陆舍铭,等.固相萃取-高效液相色谱法测定烟草中的两种多羟基吡嗪异构体[J].分析试验室,2007,26(12):35-38.

[6] 黎艳玲,杨华武,周宇,等.硅烷化衍生-气相色谱/质谱法分析糖氨反应中的2,6-脱氧果糖嗪[J].色谱,2006,24(2):212.

有机无机肥配施对白肋烟 生长发育及品质的影响

安毅¹, 李辉¹, 任胜超², 聂红资¹, 吴文昊³, 王瑞³, 许自成²

- (1. 黑龙江烟草工业有限责任公司 技术中心, 黑龙江 哈尔滨 150001;
2. 河南农业大学 烟草学院, 河南 郑州 450002;
3. 湖北省烟草公司 恩施州公司, 湖北 恩施 445000)

摘要:通过考察不同施肥处理白肋烟田间农艺性状及主要生理指标,研究了有机肥和无机肥配施对白肋烟生长发育及品质的影响.结果表明:施用无机肥处理的大田烟株,各农艺性状指标均明显优于施用有机肥处理;有机和无机肥配施,其烟株主要生理指标和调制后烟叶的内在化学成分协调性,均优于施用无机肥或有机肥处理;亩施基肥 500 kg 有机肥、追肥 4 kg 纯氮有利于白肋烟的生长发育及品质提高.

关键词:白肋烟;有机无机肥配施;农艺性状

中图分类号:S572.062 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.018

Effects of organic fertilizer combined with inorganic fertilizer on the growth and quality of the burley tobacco

AN Yi¹, LI Hui¹, REN Sheng-chao², NIE Hong-zi¹,
WU Wen-hao³, WANG Rui³, XU Zi-Cheng²

- (1. Tech. Center, Heilongjiang Tobacco Ind. Co., Ltd., Haerbin 150001, China;
2. College of Tobacco Sci., Henan Agr. Univ., Zhengzhou 450002, China;
3. Enshi Branch, Hubei Province Tobacco Co., Enshi 445000, China)

Abstract: The effects on the burley tobacco's growth and quality combination organic with inorganic fertilizer were researched through investigating agronomic character and physiological indexes. The results showed that the agronomic character indexes of the tobacco plants using only inorganic fertilizer were significantly higher than that of the tobacco plants using organic fertilizer; the intrinsic chemical composition and every representative physiological indexes of the tobacco plants using both organic and inorganic fertilizer were also higher than that of the tobacco plants only using organic fertilizer or inorganic fertilizer. According

收稿日期:2011-09-30

基金项目:黑龙江烟草工业有限责任公司科技项目(HYG201001);中国烟草总公司湖北省公司科技项目(027Y2011—050)

作者简介:安毅(1978—),男,黑龙江省铁力市人,黑龙江烟草工业有限责任公司工程师,主要研究方向为卷烟产品设计、工艺开发和技术管理.

通信作者:许自成(1964—),男,河南省汝南县人,河南农业大学教授,博士,主要研究方向为烟草品质生态、烟草营养与烟叶质量评价.

to the results of this study, it was recommended organic fertilizer 500 kg per mu was used as basal, pure nitrogen 4 kg as additional fertilizer.

Key words: burley tobacco; organic fertilizer combined with inorganic fertilizer; agronomic character

0 引言

白肋烟是生产混合型卷烟的重要原料,其品质直接影响混合型卷烟的质量.白肋烟生长发育和品质形成受气候、土壤、品种和栽培条件的综合影响^[1],其中土壤肥力条件的适宜与否直接决定着白肋烟品质性状的优劣.施肥是烟叶生产中的关键栽培技术,有机肥与无机肥配合施用,不仅能持续不断地供给烟株生长发育所需营养,而且对培肥土壤、改善土壤结构具有重要作用.有机肥所含养分丰富,在土壤微生物的作用下,除释放养分外还可产生多种激素,既能促进烟叶体内的代谢,又有利于糖分和致香物质的积累,从而赋予烟叶优良的品质.近年来,持续不断地施用化肥、农药、杀虫剂,加之土地的不合理利用,已造成我国诸多烟区土壤有机质含量降低、结构变劣和矿质养分失衡等,严重影响着烟叶的产量和品质.施用有机肥对改良农田土壤理化性状的研究多有报道^[2-4],然而单纯施用有机肥可能导致严重减产.本文将以恩施白肋烟产区为对象,研究有机肥配施少量无机肥对白肋烟生长发育及品质的影响,以期对白肋烟平衡施肥提供依据.

1 实验设计与指标测定

1.1 材料

供试品种为白肋烟品种鄂烟六号,中国烟草白肋烟试验站和湖北省烟草科学研究所选育品种.

1.2 实验设计

本实验在湖北省恩施市新塘乡龚家坪村进行,该地区海拔 1 300 m,土壤类型为石灰岩山地黄棕壤,有机质 29.6 g/kg, pH = 6.4,速效氮 220 mg/kg,速效磷(P_2O_5) 34 mg/kg,速效钾(K_2O) 152 mg/kg.

试验设置 5 个处理. T1: 亩施纯氮 14 kg, N: P_2O_5 : K_2O = 10: 10: 20, P 肥全部做基肥, N, K 肥 70% 基肥, 30% 于移栽后 10—20 d 追施; T2: 亩施有机肥 700 kg, 其中 600 kg 做为基肥, 100 kg 做为追肥于移栽后 10—20 d 追施; T3: 亩施有机肥 600 kg 做为基肥, 纯氮 2 kg 做为追肥; T4: 亩施有机肥

500 kg 作为基肥, 纯氮 4 kg 作为追肥; T5: 亩施有机肥 400 kg 作为基肥, 纯氮 6 kg 作为追肥(注: 试验所使用的有机肥为禾润生物有机肥, 其中有效活菌数 $\geq 2 \times 10^7$ 个/克, 有机质 $\geq 25\%$, 氮、磷、钾含量 $\geq 18\%$, 富含钙、镁、硼、锌、腐殖酸、氨基酸等营养成分, 由宜昌禾润生物有机肥有限公司生产, 每 100 kg 有机肥折合纯氮量约为 2 kg).

每个处理针对一个小区, 每个小区面积 267 m². 随机区组排列, 3 次重复. 行距 110 cm, 株距 55 cm, 种植密度 1 135 株 / 667 m². 3 月上旬起垄, 5 月 10 号移栽, 各处理均设开花始期打顶, 留叶数 20—22 片. 生理成熟时采用逐叶采收方法采收, 用当地烟草公司标准晾棚晾制. 烟叶晾制好后分上、中、下 3 个部位按处理分别取样, 烘干粉碎过 60 目筛备用.

1.3 指标测定

1.3.1 田间农艺性状及干物质质量调查 移栽后 35 d, 50 d, 65 d 和 80 d 按处理分别调查叶长、叶宽、株高和茎围, 同时挖取整株烟株, 按地上、地下部分分别烘干称重测定干物质质量.

1.3.2 生理指标测定 于白肋烟移栽后 35 d, 50 d, 65 d, 80 d 上午 9:00 分别取各处理健壮烟株的第 6 片叶片, 每个处理各取 3 片叶, 在田间将鲜样置于冰盒中, 立即带回用锡箔纸包好投入液氮罐中冷冻保存, 最后一次取样完毕后带回实验室进行分析测定. 转化酶参考农作物化学控制实验指导中方法测定, 超氧化物歧化酶(SOD)活性参照王爱国等^[5]的方法进行测定; 过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定^[6].

1.3.3 物理特性测定 测定项目为叶长、叶宽、叶质重、拉力、填充值. 其中叶长、叶质重、拉力按吉书文等^[7]的方法测定, 填充值参照屈剑波等^[8]的相关文献测定.

1.3.4 主要化学成分测定 各主要化学成分指标均采用英国 SEAL—AA3 流动分析仪测定. 烟叶各常规化学成分的分析检测均依据行业标准进行. 其中, 总糖(X1)、还原糖(X2)的检测依据为 YC/T 159—2002, 总氮(X3)的检测依据为 YC/T 161—2002, 烟碱(X4)的检测依据为 YC/T 160—2002, 钾

(X5)的检测依据为YC/T 217—2007,氯(X6)的检测依据为YC/T 162—2002,均采用连续流动分析法进行,各检测数据均换算成百分率。

1.3.5 统计分析方法 试验数据处理采用SPSS 18.0和Excel统计分析软件进行,其中多重比较分析采用单因素方差分析中Duncan法进行。

2 结果与分析

2.1 不同处理白肋烟田间农艺性状的比较

移栽后各时期田间农艺性状表现见表1。由表1可知,移栽后35 d,各组最大叶面积、株高、茎围和有效叶数均以T1为最大,其中在最大叶面积、株高和茎围3项指标中,T1与其他组之间的差异均达到了5%的显著水平。移栽后50 d,最大叶面积和茎围均表现为T1最大,T2最小,且T1与其他各组之间的差异均达到了显著水平。移栽后65 d,最大叶面积表现为T1最大,T4最小,T4与T1,T2,T5之间的差异均达到了显著水平;株高和茎围均表现为T1最大;有效叶数在各组间表现为T3最大,T5最小,各处理间的差异均未达到显著水平。移栽后80 d,最大叶面积在各组间差异不显著,其中T3最大,T4最小;株高在各处理间表现为T2最大,T5最小,T5与T2和T3之间的差异均达到了5%的显著水平;茎围和有效叶数在各组间的差异均未达到显著水平。

2.2 不同处理白肋烟主要生理指标分析

2.2.1 转化酶活性比较 移栽后各时期各组白肋烟叶片转化酶活性见表2。由表2可知,移栽后35 d和65 d,T4的转化酶活性均为最高。移栽后35 d,T2的转化酶活性与T1,T3,T4的差异达到了显著水平,其差异趋势表现为T4 > T1 > T3 > T5 > T2。移栽

后50 d,T1与T2间的差异达到了显著水平,T2的酶活性最大,T4次之。移栽后65 d,T4与其他各处理间的差异均达到了显著水平,T1与T5之间的差异未达到显著水平,具体差异表现为T4 > T2 > T1 > T5 > T3。移栽后80 d,各处理之间的差异未达到显著水平,各处理间的转化酶活性表现为T1 > T4 > T5 > T2 > T3。

由以上结果可以看出,T4在各个时期叶片转化酶活性均较高,这可能是由于T4前期烟株养分需求能够得到充分供应,后期有机肥肥效发挥及时,改善了烟株生长发育环境,从而有利于叶片碳代谢的正常进行。

2.2.2 保护酶活性比较 1)过氧化物酶(POD)活性比较。POD是广泛存在于植物体内的一种活性较高的保护酶,它对于维持植株体内活性氧代谢平衡,清除过量活性氧,保持细胞膜稳定性起重要作用^[9]。移栽后各时期各处理叶片POD含量见图1。

由图1可知,移栽后35 d,T4的POD含量最高,T2最低,其中T4与T1和T2之间的差异达到了5%的显著水平。这可能是由于有机肥与无机肥配施影响了2种肥料的前期肥效发挥,导致烟株前期营养元素供应不足,叶片生长发育环境不良。移栽后50 d,T1的POD含量最高,T3最低,各处理之间的差异均未达到显著水平,说明该时期有机肥处理的肥效已经开始得到了充分利用,烟株内在生长发育环境良好。移栽后65 d,T1的POD含量最高,T4次之,T2最低,T1与T2之间的差异达到了5%的显著水平。移栽后80 d,各组之间POD含量的差异趋势表现为T4 > T2 > T5 > T3 > T1,T4与T1,T3,T5之间的差异达到了5%的显著水平,说明该时期T4叶片

表1 不同处理白肋烟移栽后田间农艺性状的平均表现

移栽时段	最大叶面积/cm ²					株高/cm				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
移栽后35 d	560.72 ^a	444.32 ^b	386.08 ^b	379.70 ^b	432.66 ^b	13.98 ^a	10.64 ^b	11.40 ^b	11.26 ^b	11.64 ^b
移栽后50 d	1 191.74 ^a	930.00 ^b	930.38 ^b	946.11 ^b	1 033.47 ^b	48.36 ^a	34.74 ^d	36.10 ^{cd}	39.26 ^{bc}	43.12 ^b
移栽后65 d	1 623.95 ^a	1 603.09 ^a	1 578.81 ^{ab}	1 401.18 ^b	1 618.09 ^a	93.58 ^a	89.36 ^{ab}	88.26 ^{ab}	88.64 ^{ab}	84.92 ^b
移栽后80 d	1 701.96 ^a	1 776.72 ^a	1 884.37 ^a	1 701.25 ^a	1 702.76 ^a	97.38 ^{ab}	106.86 ^a	106.74 ^a	105.82 ^{ab}	91.54 ^b
移栽时段	茎围/cm					有效叶数/片				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
移栽后35 d	5.84 ^a	4.92 ^b	5.22 ^b	5.02 ^b	5.16 ^b	9.20 ^a	8.40 ^{ab}	8.60 ^{ab}	8.00 ^b	8.40 ^{ab}
移栽后50 d	8.34 ^a	6.70 ^b	6.84 ^b	6.86 ^b	7.10 ^b	15.20 ^a	13.20 ^c	13.60 ^{bc}	14.00 ^{bc}	14.60 ^{ab}
移栽后65 d	9.24 ^a	8.56 ^b	8.48 ^b	8.02 ^b	8.08 ^b	19.40 ^a	20.00 ^a	20.60 ^a	20.20 ^a	18.40 ^a
移栽后80 d	9.82 ^a	9.68 ^a	9.52 ^a	9.18 ^a	9.20 ^a	19.40 ^a	20.60 ^a	21.00 ^a	20.80 ^a	19.00 ^a

表2 移栽后各时期各组白肋烟叶片

转化酶活性比较 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$

处理	移栽后 35 d	移栽后 50 d	移栽后 65 d	移栽后 80 d
T1	16.49 ^a	9.01 ^b	12.29 ^c	11.94 ^a
T2	12.66 ^b	12.93 ^a	14.60 ^b	10.09 ^a
T3	15.70 ^a	10.61 ^{ab}	10.53 ^d	9.93 ^a
T4	16.78 ^a	10.94 ^{ab}	16.78 ^a	11.00 ^a
T5	15.10 ^{ab}	10.06 ^{ab}	12.14 ^c	10.58 ^a

保持较高酶活性,有利于抵御叶片生长发育后期由于缺水缺水和土壤通气状况变劣等对烟株带来的不良影响。

2) 超氧化物歧化酶(SOD)活性比较. SOD 对于清除氧自由基,防止氧自由基破坏细胞的组成、结构和功能,保护细胞免受氧化损伤具有十分重要的作用^[10]. SOD 是活性氧清除反应过程中第一个发挥作用的抗氧化酶,能将超氧化物阴离子自由基(O_2^-)快速歧化为过氧化氢(H_2O_2)和分子氧;在随后的反应中, H_2O_2 在过氧化氢酶(CAT)、各种过氧化物酶和抗坏血酸-谷胱甘肽循环系统的作用下转变为水和分子氧. 移栽后各时期各组叶片 SOD 含量见图2。

由图2可知,移栽后35d, T2的SOD含量最高, T5最低,各组之间的差异均未达到显著水平. 移栽后50d, T3的SOD含量最高, T1次之, T4最低, T4与T3之间的差异达到了5%的显著水平, T1, T2, T3和T5的差异均未达到显著水平. 移栽后65d, 各组间SOD含量的差异趋势表现为 $T4 > T3 > T2 > T5 > T1$, T4与其余各组之间的差异均达到了5%的显著水平, T1, T2, T3和T5的差异均未达到显著水平;此时期T4、T3和T2叶片SOD含量较高可能是由于此时烟株生长外界环境条件不利于有机肥营养元素的分解释放,烟株由于得不到充分的养分供应而导致叶片所受逆境胁迫增加. 移栽后80d, T3的SOD含量最高, T4次之, T1最低, T3与T1和T5之间的差异均达到了5%的显著水平, T4与T1和T5之间的差异也达到了显著水平。

2.3 不同处理白肋烟物理特性比较

不同处理白肋烟中部叶物理特性见表3. 由表3可知,中部叶叶长以T4最大, T2最小;叶宽表现为T1最大, T5最小;拉力在组间表现为T4最大, T5最小,各组间差异趋势表现为 $T4 > T3 > T1 > T2 > T5$;填充值在各组间表现为T1最大, T3次之, T2最小;

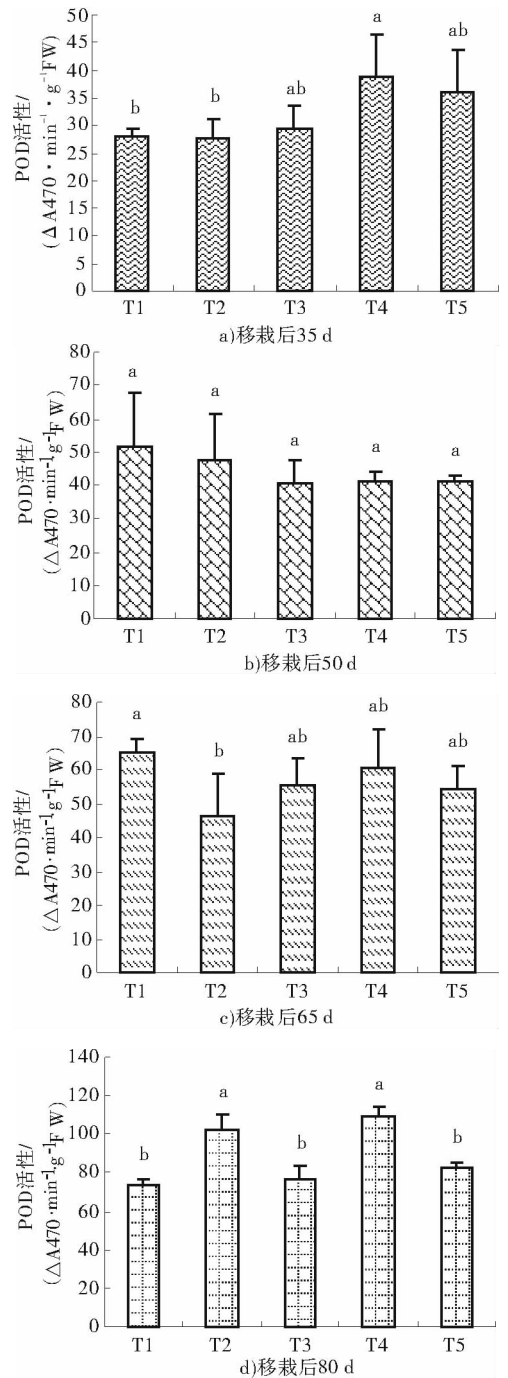


图1 移栽后不同时期各组白肋烟叶片 POD 活性比较

表3 不同处理白肋烟中部叶物理特性的比较

处理	叶长/cm	叶宽/cm	拉力/N	填充值/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	叶片厚度/ μm	单叶重/g	含梗率/%
T1	64.04 ^a	30.56 ^a	2.27 ^a	3.47 ^a	37.89 ^a	11.44 ^{ab}	27.70 ^{ab}
T2	63.22 ^a	27.34 ^a	2.07 ^a	3.00 ^a	35.33 ^a	13.12 ^a	26.34 ^b
T3	65.66 ^a	28.72 ^a	2.29 ^a	3.28 ^a	39.44 ^a	11.10 ^{ab}	26.08 ^b
T4	66.38 ^a	28.88 ^a	2.45 ^a	3.02 ^a	42.56 ^a	11.68 ^{ab}	26.94 ^{ab}
T5	64.86 ^a	27.16 ^a	1.93 ^a	3.22 ^a	29.89 ^a	10.06 ^b	32.27 ^a

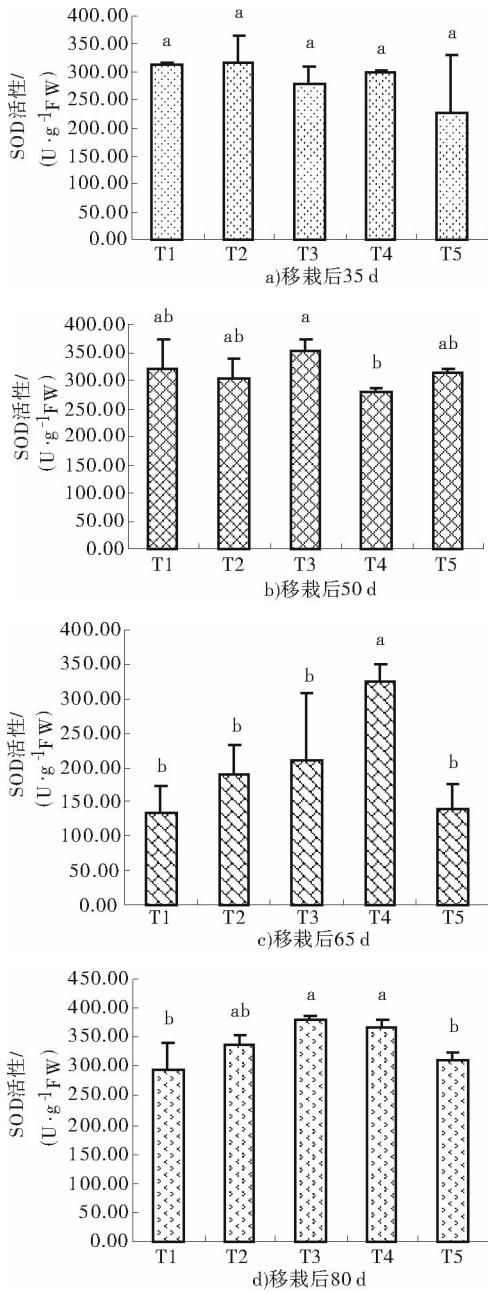


图2 移栽后不同时期各组白肋烟叶片 SOD 活性比较

叶片厚度在各组间的差异未达到显著水平,具体表现为 T4 最大, T5 最小;单叶重在各组间表现为 T2 最大, T5 最小,其中 T2 与 T5 的差异达到了显著水

平;叶片含梗率在各组间表现为 T5 最大, T3 最小,差异趋势表现为 T5 > T1 > T4 > T2 > T3.

2.4 不同处理烟叶主要化学成分比较分析

各组中部叶主要化学成分见表 4. 由表 4 可知,总糖、还原糖和糖碱比在各组间均表现为 T1 最大;烟碱在各组间表现为 T2 最大, T3 次之, T4 最小;总氮在各组间表现为 T3 最大, T5 最小,总体差异趋势表现为 T3 > T2 > T1 > T4 > T5;氮碱比在各组间表现为 T4 最大, T3 次之, T2 最小,处理间差异趋势表现为 T4 > T3 > T1 > T5 > T2;钾含量以 T4 最大, T1 含量最低,具体差异趋势表现为 T4 > T3 > T2 > T5 > T1;氯含量表现为 T1 在各组间含量最低, T2 含量最高;钾氯比在各组间的变化趋势表现为 T4 > T1 > T3 > T5 > T2;淀粉含量在各组间表现为 T2 最高, T4 最低,其中 T4 与 T2 之间的差异达到了显著水平;石油醚提取物含量在各组间表现为 T2 最高, T4 次之, T3 最低,各组之间的差异未达到显著水平.

3 结论

从烟叶大田生长发育情况来看,同一氮素水平下施用 100% 化肥烟叶的植物学性状最好, 100% 有机肥烟叶长势最差,施用无机肥烟叶的长势明显优于施用有机肥的烟叶长势. 本研究结果显示,单纯施用有机肥和有机肥配施少量无机化肥的烟株各农艺性状指标均不如只施用无机肥好,这可能是因为有机肥肥料养分释放速率较慢,难以满足烟株前期正常的生长发育需求.

本研究结果表明,有机肥配施少量无机化肥能够提高烟株叶片内的多种细胞保护酶活性,改善细胞生长发育状况,为优质烟叶的生产创造良好条件;有机肥和无机肥配施还能够明显地提高调制后烟叶各物理指标和各内在化学成分之间的协调性,从而改善烟叶的内在品质.

完全施用有机肥所获得的烟叶能够较大地减少烟叶中的有害物质,但由于白肋烟田间生长

表 4 不同处理白肋烟中部叶主要化学成分比较

处理	总糖/%	还原糖/%	烟碱/%	总氮/%	氮碱比	糖碱比	钾/%	氯/%	淀粉/%	石油醚提取物/%	钾氯比
T1	1.21	0.98	3.77	3.08	0.82	0.62	4.97	1.02	4.08 ^{ab}	6.48 ^a	4.85
T2	0.88	0.49	4.70	3.26	0.69	0.28	5.82	1.62	4.28 ^a	7.00 ^a	3.60
T3	0.71	0.35	4.45	3.92	0.88	0.15	5.94	1.61	4.13 ^{ab}	5.14 ^a	3.70
T4	1.14	0.70	3.40	3.02	0.89	0.41	6.28	1.26	3.81 ^b	6.58 ^a	4.99
T5	0.90	0.50	3.52	2.76	0.78	0.29	5.75	1.56	3.96 ^{ab}	6.11 ^a	3.69

发育过程中所需要的营养物质较多,单纯施用有机肥对经济效益造成的损失过大.在综合考虑这些因素后进行研究,可得出如下结论:亩施基肥 500 kg 有机肥,追肥 4 kg 纯氮,这样既能减少经济效益方面的损失,又能有效改善烟叶田间生长发育状况和调制后烟叶的品质,是比较理想的肥料配施方案.

参考文献:

- [1] 史宏志,刘国顺,谢子发,等.不同产地白肋烟中性香气成分及生物碱组成和含量分析[J].中国烟草学报,2008,14(4):23.
- [2] 时向东,刘国顺,李广才,等.不同类型肥料对烤烟发育过程中土壤养分状况的影响[J].河南农业大学学报,1999,33(3):235.
- [3] 韩锦峰,王凌,张秀英,等.生物有机肥对烤烟生长发育及其产量和品质的影响[J].河南农业科学,1999,(6):11.
- [4] 窦玉青,刘永中,姜鹏超.普利生物肥在烤烟上的应用研究初报[J].中国烟草科学,2000(4):14.
- [5] 王爱国,罗广华.植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J].植物生理学通讯,1990,26(6):55.
- [6] 张志良.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,1990:88-91,154-155.
- [7] 吉书文,腾兆波.烟草物理检测[M].郑州:河南科学技术出版社,1997.
- [8] 屈剑波,闫克玉,李兴波,等.河南烤烟(40级)各等级烟叶填充力的测定[J].烟草科技,1996(5):6.
- [9] 张利红,李培军,李雪梅,等.镉胁迫对小麦幼苗生长及生理特性的影响[J].生态学杂志,2005,24(4):25.
- [10] 马旭俊,朱大海.植物超氧化物歧化酶(SOD)的研究进展[J].遗传,2003,25(2):225.
- (上接第 59 页)
- [19] Aziz S, Wu Z, Robinson D S. Potato lipoxygenase catalyzed co-oxidation of β -carotene [J]. Food Chemistry, 1999,64(2):227.
- [20] Baldermann S, Naim M, Fleischmann P. Enzymatic carotenoid degradation and aroma formation in nectarines (*Prunus persica*) [J]. Food Research Int, 2005, 38 (8/9):833.
- [21] 李秀红,李冰,李仙,等.一株产香微生物的筛选[C]//中国烟草学会工业专业委员会烟草化学学术研讨会论文集,海南:中国烟草学会,2005.
- [22] Zorn H, Langhoff S, Scheibner M, et al. Cleavage of β , β -carotene to flavor compounds by fungi [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2003, 62:331.
- [23] Sanchez-Contreras A, Jimenez M, Sanchez S. Bioconversion of lutein to products with aroma [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2000, 54:528.
- [24] Dion'sio A P, Uenojo M, Barros F F' C, et al. Cleavage of β -carotene for microorganisms isolated in Brazil—A production of β -ionone [J]. J of Biotechnology, 2007, 131 (S): S133.
- [25] 云南烟叶科技信息网.烟草质体色素代谢对烟叶品质的影响[EB/OL]. (2006-02-21) [2011-12-25]. <http://www.yntsti.com/utilitytech/View.asp?id=5161>.

析因设计优化叶丝干燥加工参数

谭奇忠, 黄治, 何蓉, 丁康钟, 齐延鹏, 刘华, 周苗苗

(川渝中烟 重庆烟草工业有限责任公司, 重庆 400060)

摘要:采用析因设计方法,探讨了管板式环形烘丝机各工艺参数对烘后烟丝质量指标的影响. 研究表明,管板式环形烘丝机干燥过程各工艺参数对烘后烟丝主要质量指标的影响程度各不相同:含水率标偏主要受到热风-排潮风门开度的影响,温度标偏主要受到热风温度及热风-排潮风门开度的影响,填充值主要受到筒壁温度的影响,结构主要受到HT蒸汽压力的影响. 可以选取筒壁温度、热风温度、HT蒸汽压力作为优化因素,根据不同产品特点设定其范围;正常生产过程中建议将热风-排潮风门开度作为出口烟丝水分的控制参数,用以提高烟丝水分的稳定性.

关键词:管板式环形烘丝机;烟丝干燥加工参数;析因设计

中图分类号:TS452.4 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.019

Application of factorial design to optimize parameter of cut tobacco drying

TAN Qi-zhong, HUANG Zhi, HE Rong, DING Kang-zhong,

QI Yan-peng, LIU Hua, ZHOU Miao-miao

(Chongqing Tobacco Ind. Co., Ltd., China Tobacco Chuanyu Ind. Co., Chongqing 400060, China)

Abstract: Using factorial design, the effect of annular cylinder dryer process parameter on the quality indexes of cut tobacco was investigated. The results showed that process parameters of cut tobacco drying have different effects on quality indexes of cut tobacco. Standard deviation of moisture mainly affected by hot-moisture exhaust opening; standard deviation of temperature mainly affected by hot air temperature and hot air-moisture exhaust opening; fill value mainly affected by cylinder wall temperature; structure mainly affected by HT steam pressure. Cylinder wall temperature, hot air temperature, HT steam pressure can be selected optimization factors according to different product features to set range. The hot air-moisture exhaust opening is suggested as cut tobacco moisture control parameters to be used to control the stability of cut tobacco moisture in the normal production process.

Key words: annular cylinder dryer; parameter of cut tobacco drying; factorial design

0 引言

烟丝干燥工序是制丝线生产的关键工序之一,其加工质量直接影响到卷烟产品物理、化学、感官

等指标的优劣^[1]. 行业内对薄板烘丝机和管板式环形烘丝机的研究多集中在加工参数的组合优化方面^[2-3],而设备的不同工艺参数对各质量指标影响程度及差异性方面的研究较少. 由于设备加工参数

收稿日期:2012-02-12

作者简介:谭奇忠(1968—),男,重庆市人,重庆烟草工业有限责任公司工程师,主要研究方向为卷烟工艺及质量管理.

通信作者:黄治(1977—),男,贵州省贵定县人,重庆烟草工业有限责任公司工程师,主要研究方向为卷烟工艺及质量管理.

较多,且对烘后烟丝各质量指标的影响程度不尽相同,切实掌握烟丝干燥过程各参数对烘后烟丝质量指标影响情况,有利于指导工艺参数的分类研究及参数的合理设置.本文拟采取析因设计方法,对管板式环形烘丝机主要参数进行实验,以获取影响管板式环形烘丝机烘后烟丝质量指标的关键参数.

1 实验与检测方法

1.1 材料与设备

材料:重庆烟草工业有限责任公司 A 牌号配方烟丝.

设备:SH315D 滚筒管板式环形烘丝机,秦皇岛烟草机械有限公司产;WQ713 叶丝增温增湿机(HT),云南昆船第一机械有限公司产;PASSIM—7000 卷烟机,英国 MOLINS 公司产;W50 烟支质量分选仪,德国 Borgwaldt 公司产;D51 烟丝填充值测定仪,法国索定公司产;YQ—2 型烟丝振动分选筛,郑州烟草研究院产;JB285 电子天平(感量0.1 g),瑞士 METTLER TOLEDO 公司产.

1.2 实验方法

采用析因设计方法^[4]对管板式环形烘丝机进行参数实验,依据各参数对加工感官品质、物理指标以及物理指标稳定性的影响程度,对参数进行排序.

选取 HT 蒸汽压力(A)、筒壁温度(B)、热风温度(C)、热风—排潮风门开度(D)、筒体转速(E)5 个工艺参数,以正常生产参数为中心,各参数分别取高、低 2 个水平,采用 2^{5-1} 析因设计见表 1,对 A 牌号配方烟丝进行实验.

1.3 样品的制备和检测方法

1.3.1 评吸样品的制备 均匀间隔分 10 次抽取烘后叶丝共 30 kg,混合均匀,常温平衡至 $(12.0 \pm 0.5)\%$ 标准水分,并在贮丝房中贮存 12 h. 使用相同的卷烟材料进行卷制,采用烟支质量分选仪对卷制好的卷烟样品进行分选,选取质量 (0.94 ± 0.05) g 的烟支样品,按照 GB/T 16447—2004^[5] 进行评吸样品平衡.

1.3.2 烟丝物理指标的测定 烘后烟丝填充值的取样与测定依照 YC/T 152—2001^[6] 方法进行,烘后烟丝结构的取样与测定采用文献^[7] 方法进行.烘后烟丝含水率、温度等数据使用在线监测装置进行采集.

表 1 管板式环形烘丝机析因设计表

序号	A/MPa	B/°C	C/°C	D/%	E/(r·min ⁻¹)
01	-(0.1)	+(130)	+(105)	-(50-45)	+(13)
02	-	+	-	-	-(9)
03	+(0.4)	+	+	-	-
04	-	-(110)	-(85)	+(50-75)	-
05	-	+	+	+	-
06	+	-	+	+	-
07	+	+	+	+	+
08	-	+	-	+	+
09	+	-	-	+	+
10	+	+	-	+	-
11	+	-	+	-	+
12	-	-	+	+	+
13	+	-	-	-	-
14	-	-	-	-	+
15	-	-	+	-	-
16	+	+	-	-	+

注:“+”表示高水平,“-”表示低水平.

1.3.3 内在质量评吸方法 对样品进行感官评吸,将样品感官品质按香气特性(香气质、香气量、透发性、杂气),烟气特性(劲头、浓度、细腻程度、成团性),吸味特性(刺激性、干燥感、回甜、残留)分为 3 部分,单项指标最高 9 分,最低 1 分,各特性最高 36 分,最低 4 分,计算实验样品与正常生产样品各特性之间的感官品质差值.

2 结果与讨论

2.1 实验结果与分析

管板式环形烘丝机参数实验物理指标测试及样品感官品质评价结果见表 2. 对表 2 测试及评吸结果进行分析,可以得到各参数对烘后烟丝指标的影响程度,分析结果见表 3.

从表 3 可以看出:管板式环形烘丝机烟丝干燥过程中,脱水量受筒壁温度、HT 蒸汽压力的影响比较大,均达到了显著水平;出口含水率标偏受热风—排潮风门开度及筒体转速的影响较大;出口温度标偏主要受热风—排潮风门开度和热风温度的影响,且极为显著;填充值指标受到筒壁温度的影响,其程度呈显著水平;整丝率、碎丝率指标主要影响因素为 HT 蒸汽压力,且整丝率受到 HT 蒸汽压力影响程度比较显著;各参数在对烘后烟丝感官质量各类特征的影响上虽然也有程度上的差异,整体来看均未表现出统计上的显著性,但是可以从效应值上看

表2 管板式环形烘丝机参数实验物理指标测试及样品感官品质评价结果

编号	参数物理指标						样品感官品质评价		
	出口含水率 标偏/%	出口温度 标偏/℃	脱水量 /%	整丝率 /%	碎丝率 /%	填充值 /(cm ³ ·g ⁻¹)	香气特征 差值	烟气特征 差值	吸味特征 差值
01	0.15	0.42	9.04	82.77	2.01	4.74	0	0	0
02	0.17	0.14	8.54	81.42	2.03	4.53	-0.18	0.06	-0.75
03	0.12	0.87	8.09	83.46	2.05	4.65	-0.27	-0.34	0.2
04	0.09	0.51	6.14	82.96	2.19	3.49	0.33	-0.2	-1
05	0.21	0.79	9.84	82.95	1.87	4.91	0.08	0.08	-0.58
06	0.07	0.76	5.27	83.63	2.07	3.35	1.24	0.5	0.59
07	0.11	0.97	8.50	85.19	1.63	4.62	0	-0.06	-0.81
08	0.28	0.72	10.07	80.98	2.60	5.09	0.27	0.01	-0.14
09	0.33	0.83	6.14	84.28	1.95	3.69	0.07	0.74	-0.2
10	0.19	0.47	8.27	85.22	1.72	4.52	-0.07	0.13	-0.94
11	0.08	0.49	5.53	83.13	2.20	3.88	-0.39	-0.2	-0.66
12	0.28	0.96	6.75	83.86	1.92	3.64	-0.73	0.13	-0.54
13	0.07	0.49	5.31	83.18	2.04	3.69	-0.53	0	-0.26
14	0.11	0.35	6.37	82.58	2.08	3.66	-0.53	0.14	-0.33
15	0.10	0.64	6.14	82.53	2.06	3.68	-0.2	0.06	0.27
16	0.11	0.29	8.24	83.55	1.90	4.67	0.4	0.47	0.27

表3 管板式环形烘丝机各参数对烘后烟丝指标影响程度分析表

指标	A/MPa		B/℃		C/℃		D/%		E/(r·min ⁻¹)		因素排序
	效应值	P值	效应值	P值	效应值	P值	效应值	P值	效应值	P值	
脱水量	-0.943	0.000	2.868	0.000	0.010	0.950	0.465	0.014	0.380	0.036	B>A>D>E>C
出口含水率标偏	-0.039	0.305	0.024	0.522	-0.029	0.438	0.082	0.047	0.055	0.160	D>E>A>C>B
出口温度标偏	0.078	0.358	-0.046	0.587	0.264	0.009	0.286	0.006	0.047	0.579	D>C>A>E>B
填充值	-0.084	0.372	1.081	0.000	0.016	0.860	-0.024	0.796	0.146	0.134	B>E>A>D>C
整丝率	1.449	0.007	-0.076	0.863	0.419	0.355	0.806	0.091	0.124	0.780	A>D>C>E>B
碎丝率	-0.150	0.223	-0.088	0.466	-0.088	0.466	-0.053	0.659	0.033	0.784	A>B>C>D>E
香气特征差值	0.120	0.493	-0.103	0.635	-0.148	0.988	0.143	0.176	0.118	0.524	C>D>A>E>B
烟气特征差值	0.158	0.421	-0.078	0.490	0.228	0.326	-0.295	0.342	0.008	0.430	D>C>A>B>E
吸味特征差值	0.131	0.563	0.256	0.774	0.199	0.407	-0.106	0.288	0.239	0.978	B>E>C>A>D

出各参数对于感官质量特征影响的趋势性,特别是筒壁温度对于香气特征及烟气特征均呈负面影响。

2.2 参数控制范围优化

根据析因分析结果选取 HT 蒸汽压力、筒壁温度、热风温度 3 个参数进行 5 水平实验设计(见表 4),对每一个工艺参数的 5 个水平分别进行单因素实验,检测结果见表 5。

从表 5 可以看出,HT 蒸汽压力在 0.05 ~ 0.45 MPa 范围内,筒壁温度在 98 ~ 122 ℃ 范围内,热风温度在 80 ~ 95 ℃ 范围内,干燥后烟丝结构及填充值指标基本能够满足工艺要求。所选参数水平范围内,随着 HT 蒸汽压力增大,整丝率指标呈上升趋势;随筒壁温度的升高,干燥后烟丝填充值有所提

升,但碎丝率有所增加,感官品质与对照样品无明显差异;热风温度 100 ℃ 时,感官品质出现差异。由上述分析可知,实验牌号在管板式环形烘丝机干燥过程中参数可调范围较大,对于某一质量指标的改善需求可视情况对个别参数进行适当调整。

3 结论

本文选取管板式环形烘丝机的 5 个主要工艺参数,采用的 1/2 分式设计,分析了各参数对于烟丝主要质量指标和感官指标影响的差异性。通过分析可以看出,出口含水率标偏受热风-排潮风门开度及筒体转速的影响较大;出口温度标偏主要受热风-排潮风门开度和热风温度的影响,且极为显著;筒壁

表4 烘丝机3参数实验设计表

编号	HT 蒸汽压力/MPa	筒壁温度/°C	热风温度/°C
01	0.25	98	90
02	0.25	104	90
03	0.25	110	90
04	0.25	116	90
05	0.25	122	90
06	0.05	110	90
07	0.15	110	90
08	0.35	110	90
09	0.45	110	90
10	0.25	110	80
11	0.25	110	85
12	0.25	110	95
13	0.25	110	100

表5 单因素实验检测结果

编号	叶丝结构/%		填充值/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	感官品质与对照样品 是否存在明显差异
	整丝率	碎丝率		
01	83.69	1.93	3.88	无
02	82.71	2.06	3.98	无
03	83.60	1.78	4.41	无
04	83.19	1.97	4.60	无
05	79.49	3.59	5.54	无
06	82.85	1.92	4.19	无
07	83.74	1.64	4.21	无
08	83.48	1.78	4.27	无
09	85.23	1.54	4.35	无
10	83.70	1.94	4.57	无
11	83.02	2.04	4.52	无
12	83.52	1.97	4.36	无
13	81.69	2.39	4.44	有

温度、热风温度、HT 蒸汽压力对于干燥后烟丝结构、填充值等主要质量指标相对于其他参数有较大影响;对于干燥烟丝感官品质的影响,各参数间略有差异.

从分析结果来看,针对管板式环形烘丝机,可以选取筒壁温度、热风温度、HT 蒸汽压力作为重点参数优化对象,根据不同产品特点确定3个参数设定范围;正常生产过程中可以将热风-排潮风门开度作为出口烟丝水分控制的微调参数,用以控制烟丝水分的稳定性.

参考文献:

- [1] 陈良元. 卷烟生产工艺技术[M]. 郑州:河南科学技术出版社,2002.
- [2] 周学政,汪长国,戴亚,等. 综合平衡法在滚筒管板烘丝机工艺参数优化中的应用[J]. 烟草科技,2009(4):18.
- [3] 卢彦华,张峻松,于录,等. 滚筒烘丝工艺参数优化研究[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版,2009,24(1):5.
- [4] Douglas C Montgomery. Design and Analysis of Experiments[M]. New York:John Wiley & Sons Inc,2004.
- [5] GB/T 16447—2004,烟草及烟草制品·调节和测试的大气环境[S].
- [6] YC/T 152—2001,卷烟·烟丝填充值的测定[S].
- [7] YC/T 178—2003,烟丝整丝率、碎丝率的测定方法[S].

稳定热湿条件下白肋烟干燥动力学在线分析

刘相君¹, 郝瑞¹, 周碧波¹, 李斌², 王廷¹

(1. 黑龙江烟草工业有限责任公司 技术中心, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 郑州烟草研究院 烟草工艺重点实验室, 河南 郑州 450001)

摘要:利用烟草热湿处理特性在线分析装置,对5种白肋烟干燥动力学特性进行实验研究.在考察干燥介质温度、湿度对白肋烟干燥过程的影响基础上,利用修正的菲克模型予以模拟,结果表明:湿度为0.11 kg/kg,干燥温度在100~160℃内,有效扩散系数 D_e 值随着温度的升高而逐渐增大;温度为130℃,干空气湿度在0.05~0.23 kg/kg内, D_e 值随着湿度升高而逐渐降低.

关键词:白肋烟;热湿处理;干燥动力学;在线分析

中图分类号:TS452 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.020

Study on drying kinetics online analysis of burley tobacco under steady heating-moistening condition

LIU Xiang-jun¹, HAO Rui¹, ZHOU Bi-bo¹, LI Bin², WANG Ting¹

(1. Tech. Center, Heilongjiang Tobacco Ind. Co., Ltd., Harbin 150001, China;

2. Key Lab. of Tobacco Proc. Tech., Zhengzhou Tobacco Research Inst., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The feature of drying kinetics of five burley tobacco were studied with an online device of heating-moisture treatment for analyzing, based on investigating the effects of temperature and relative humidity of medium on drying process, it was simulated using modified Fick's model. The results showed that the effective diffusion coefficient D_e value increases gradually with the temperature when humidity is 0.11 kg/kg, drying temperature is within 100~160℃, the D_e value reduces as humidity rises gradually when temperature is 130℃, dry air humidity is 0.05~0.23 kg/kg.

Key words: burley tobacco; heating-moistening processing; drying kinetics; online analysis

0 引言

白肋烟烘焙工艺是混合型卷烟加工中的重要组成部分,对提高白肋烟品质有重要作用.白肋烟烘焙是指热湿介质对白肋烟进行一定时间的加工,其中热湿介质的温度、湿度是重要影响因素.现有白肋烟处理研究^[1-5]多侧重于加工前后的对比,较

少从过程变化的角度进行分析;或多是针对具体加工设备,考察操作参数对加工后白肋烟质量的影响,得到的结论只针对单一设备的个性化问题,缺乏共性技术的研究.鉴于此,本文选用不同地区、不同部位和等级的5种白肋烟作为研究对象,利用烟草热湿处理特性在线分析装置^[6-7],对其干燥特性进行实验分析,以期对白肋烟加工提供参考.

收稿日期:2011-11-23

作者简介:刘相君(1982—),男,黑龙江省哈尔滨市人,黑龙江烟草工业公司助理工程师,主要研究方向为烟草工艺.

通信作者:王廷(1982—),男,黑龙江省哈尔滨市人,黑龙江烟草工业公司助理工程师,主要研究方向为烟草工艺.

1 实验条件与数据处理方法

1.1 实验材料与装置

选取5种白肋烟烟叶作为研究对象(见表1).利用烟草热湿处理特性在线分析装置(郑州烟草研究院提供)进行干燥动力学实验.

表1 实验样品

编号	产地	等级	年份
A1	巴西	BF2	2005
A2	巴西	CF2	2005
A3	湖北恩施	C2F	2006
A4	湖北恩施	B3	2006
A5	湖北宜昌	马里兰 HMC2	2006

1.2 样品前处理

分别测定5种原料烟叶的初始含水率,根据烟叶加湿过程中干物质不变的原理,计算一定量样品所需的加水量,并对所选原料均匀加湿,使其达到目标含水率35%.处理后样品密封,室温平衡48h,备用.

1.3 实验条件

根据实验装置的性能和实验原料对流薄层的干燥需求,通过预实验确定实验风速为0.06 m/s,同时确定原料的初始质量为2g.在此实验条件下,具有较好的数据重现性和稳定性.通过改变气氛环境的温度和湿度,研究卷烟原料干燥特性.由单因素实验原则确定实验条件见表2.

表2 实验条件

编号	干球温度/℃	湿球温度/℃	湿度/(kg·kg ⁻¹)	干空气流量/(L·min ⁻¹)	蒸馏水流速/(g·h ⁻¹)
T1H3	100	60	0.12	18.3	176.6
T2H3	115	60	0.12	17.8	162.7
T3H3	130	60	0.11	18.3	149.6
T4H3	145	60	0.11	16.8	137.3
T5H3	160	60	0.10	16.4	125.8
T3H1	130	50	0.05	19.1	68.8
T3H2	130	55	0.08	17.3	105.8
T3H4	130	65	0.16	16.1	202.1
T3H5	130	70	0.23	14.7	263.5

1.4 数据处理方法

白肋烟干燥过程的动力学实验的主要目的,是获得对流干燥过程中物料质量随时间的变化规律.热、质传递过程的相互耦合及白肋烟空间分布特性使此问题复杂化.为此,在做白肋烟干燥过程的动

力学研究时做以下几点假设^[8]:物料内部均匀分布且各向同性,初始温度和湿度分布均匀;水分以液态形式扩散至物料表面,然后在表面蒸发;忽略热、质传递过程中的耦合作用及物料内部的温度差;不考虑物料干燥过程中发生的变形和收缩效果,以平均值代替;质传递过程可以用菲克扩散定律表示.

根据以上假设,考虑质量传递过程,用菲克第二定律描述为

$$\partial M / \partial t = D_e \partial^2 M / \partial L^2$$

式中, M 为任意 t 时刻干基含水率, t 为干燥时间/s, D_e 为有效扩散系数(传质系数)/(m²·s⁻¹), L 为白肋烟片的堆积厚度/m.

此过程的解为^[9]

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} =$$

$$\frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 D_e \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 t\right] \quad (1)$$

式中, M_0 为初始含水率; M_e 为平衡含水率其测定依据是在各相应实验温、湿度下平衡2h以上; M 为瞬时含水率.

式①等号左边分子分母同时除以干基质量,右边简化,于是方程①可简化^[10]为

$$MMR = \frac{W - W_e}{W_0 - W_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_e t}{L^2}\right) \quad (2)$$

式中, MMR 为修正后的含水率比; W_0 为初始质量; W_e 为平衡质量; W 为瞬时质量; L 为烟丝宽度,实验取值0.001m.

根据动力学原理可知,有效扩散系数 D_e 与热空气温度符合阿伦尼乌斯关系式为

$$D_e = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3)$$

式中, D_0 为扩散常数(指前因子)/(m²·s⁻¹), E_a 为表观活化能/(kJ·mol⁻¹),气体常数 $R=0.008314$ kJ/(mol·K), T 为介质温度/K.

模型参数的计算步骤为:1)根据实验数据计算得到白肋烟干燥过程中修正的含水率比 MMR 随时间 t 变化的干燥曲线;2)据式②拟合 MMR 与 t 的关系,可得到卷烟原料在不同温度和湿度环境条件下的有效扩散系数 D_e ;3)据式③回归 D_e 与空气温度 T 之间的关系,可得到白肋烟的表观活化能 E_a .

2 结果与讨论

图1—图5分别为5种白肋烟片烟样品在不同

温度条件下(湿度分别为 0.12 kg/kg,0.12 kg/kg, 0.11 kg/kg,0.11 kg/kg,0.10 kg/kg)的修正含水率比随时间的变化曲线.图6—图10分别为5种白肋

烟片烟样品在不同湿度条件下(温度为 130 ℃)修正的含水率比随时间的变化曲线.

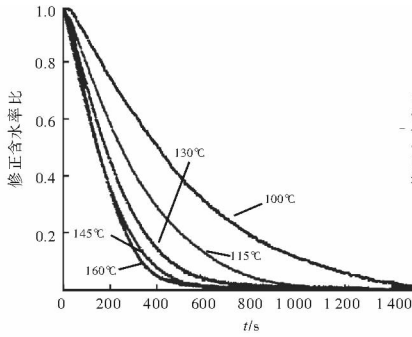


图1 不同温度下巴西BF2修正含水率比随时间变化曲线

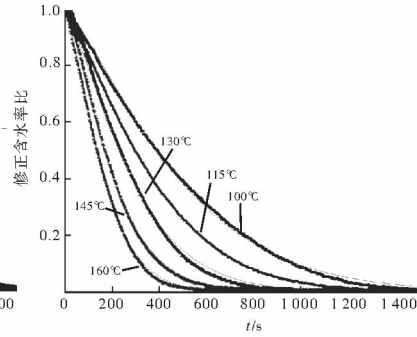


图2 不同温度下巴西CF2修正含水率比随时间变化曲线

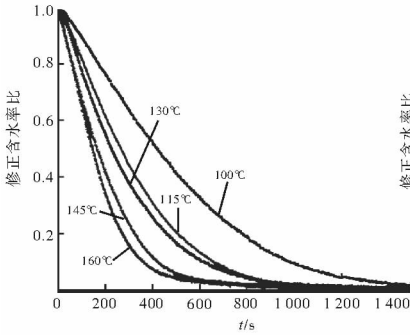


图3 不同温度下恩施B3修正含水率比随时间变化的曲线

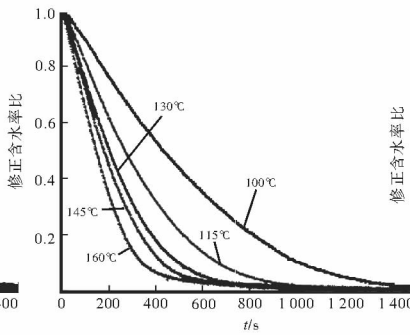


图4 不同温度下恩施C2F修正含水率比随时间变化的曲线

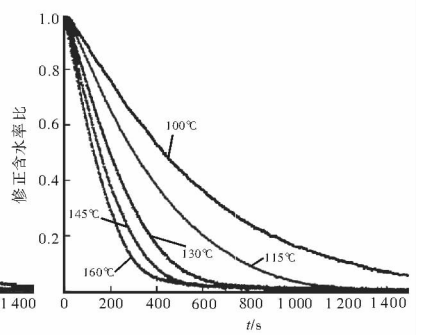


图5 不同温度下马里兰HMC2修正含水率比随时间变化曲线

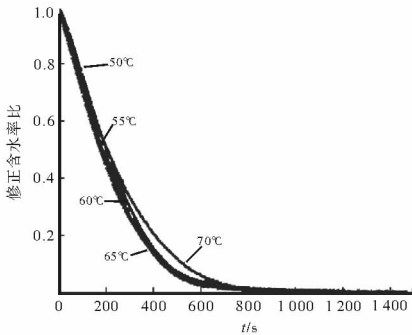


图6 不同湿度下巴西BF2修正含水率比随时间变化的曲线

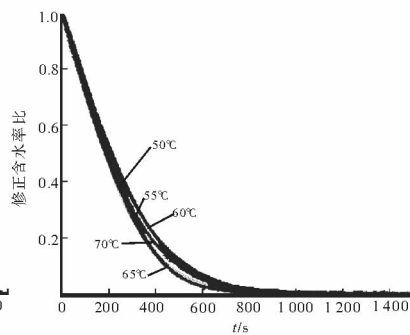


图7 不同湿度下巴西CF2修正含水率比随时间变化的曲线

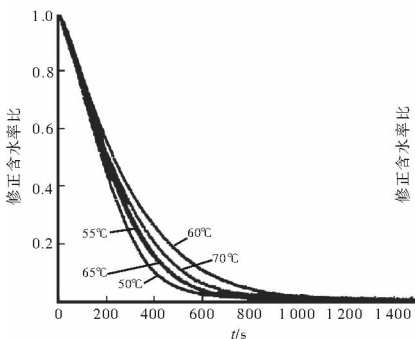


图8 不同湿度下恩施B3修正含水率比随时间变化的曲线

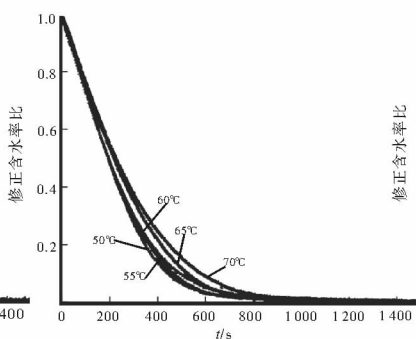


图9 不同湿度下恩施C2F修正含水率比随时间变化的曲线

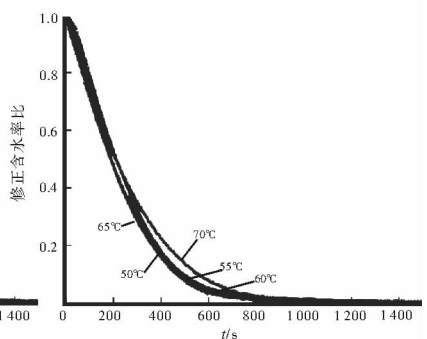


图10 不同湿度下马里兰HMC2修正含水率比随时间变化的曲线

2.1 气氛温度对白肋烟干燥特性的影响

表3为5种白肋烟片烟样品在不同温度条件下干燥时的动力学数据及相关系数。

由图1—图5可知,5种白肋烟样品在不同温度下的干燥过程呈现规律性的变化,从修正的含水率比随时间的变化趋势可知,其干燥速度随着温度的升高而加快;样品的修正含水率比在前段时间内快速下降,而后逐步趋于平衡状态。

由表3可知,用修正的非克模型能够较好地模拟5种白肋烟干燥过程,模型中实验值与预测值之间的相关系数的平方均高于0.99,在实验的温度范围内(100~160℃),有效扩散系数 D_e 随温度的升高而逐渐增大.从模型预测中可以看出5种白肋烟干燥过程随温度的升高而加快,利用阿伦尼乌斯公式可以较好地模拟 D_e 随温度的变化关系,其实验值与预测值之间的相关系数均在0.95以上。

表3 5种白肋烟在不同温度条件下干燥时的动力学数据及相关系数

样品	温度/℃	$D_e \times 10^{-10} / (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	R^2	$E_a / (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	$D_0 \times 10^{-6} / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
巴西 BF2	100	0.96	0.999 57	30.82	2.31
	115	1.76	0.999 11		
	130	2.69	0.999 64		
	145	3.57	0.998 96		
	160	3.71	0.997 98		
巴西 CF2	100	1.01	0.998 60	31.58	2.60
	115	1.43	0.999 88		
	130	2.00	0.997 48		
	145	3.02	0.998 78		
	160	4.06	0.998 96		
恩施 B3	100	0.95	0.998 80	29.53	1.40
	115	1.67	0.999 84		
	130	1.93	0.998 69		
	145	3.02	0.997 38		
	160	3.66	0.998 59		
恩施 C2F	100	0.91	0.998 48	30.30	1.79
	115	1.64	0.999 61		
	130	2.36	0.999 26		
	145	2.81	0.998 04		
	160	3.72	0.998 01		
马里兰 HMC2	100	0.82	0.996 48	37.91	17.7
	115	1.37	0.999 15		
	130	2.46	0.99923		
	145	3.36	0.998 91		
	160	4.30	0.997 79		

通过对白肋烟样品干燥过程的动力学模型分析,可以得到在实验范围内任意条件下5种白肋烟干燥的特性曲线.通过对样品所得到的表观活化能和指前因子数据计算可以得到任意温度下的有效扩散系数,从而横向对比不同白肋烟样品在同一温度下干燥速度的快慢。

2.2 气氛湿度对白肋烟干燥特性的影响

表4为5种白肋烟在不同湿度条件下干燥时的动力学数据及相关系数。

由图6—图10可知,5种白肋烟样品在不同湿度下的干燥过程中,除恩施 C2F外,多数未呈现规律性的变化,其原因可能是在实验范围内(湿度范围0.05~0.23 kg/kg干空气),湿度对5种白肋烟样品干燥过程影响较小.关于湿度影响的研究中,恩施 C2F样品呈现了规律性的变化,其规律基本揭

表4 5种白肋烟在不同湿度条件下干燥时的动力学数据及相关系数(温度均为130℃)

样品	湿度/(kg·kg ⁻¹)	$D \times 10^{-10} / (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	R^2
巴西 BF2	0.05	2.49	0.998 33
	0.08	2.69	0.999 34
	0.11	2.79	0.998 84
	0.16	2.78	0.998 53
	0.23	2.29	0.998 41
巴西 CF2	0.05	2.23	0.999 76
	0.08	2.66	0.998 63
	0.11	2.21	0.999 46
	0.16	2.73	0.998 51
	0.23	2.46	0.998 87
恩施 B3	0.05	2.92	0.998 17
	0.08	2.59	0.999 54
	0.11	1.91	0.999 16
	0.16	2.51	0.999 12
	0.23	2.27	0.999 04
恩施 C2F	0.05	2.62	0.998 51
	0.08	2.54	0.999 09
	0.11	2.44	0.998 77
	0.16	2.20	0.998 75
	0.23	2.01	0.999 02
马里兰 HMC2	0.05	2.28	0.997 66
	0.08	2.61	0.999 31
	0.11	2.55	0.998 85
	0.16	2.58	0.998 75
	0.23	2.18	0.997 62

示了湿度对干燥过程的影响,即随着干燥介质湿度的增加,白肋烟干燥速率减慢.这与前人针对烟丝干燥动力学的研究结果一致,增加湿度的作用是降低了白肋烟样品向干燥介质中的传质动力,其表现为干燥速度减慢.湿度对其他4种样品的影响基本可以从湿度0.05 kg/kg干空气和0.23 kg/kg干空气两个极端情况中看到,降低传质动力后对白肋烟干燥过程有影响.

由表4可知,用修正的非克模型能够较好地模拟5种白肋烟干燥过程,模型中实验值与预测值之间 R^2 均高于0.99.从恩施C2F样品中可以看出,在实验湿度范围内(0.05~0.23 kg/kg干空气),有效扩散系数随湿度的升高而逐渐降低,可以从模型预测中说明该白肋烟干燥速度随湿度的升高而减慢.此外,根据实验数据计算出的有效扩散系数在 $2.01 \times 10^{-10} \sim 2.58 \times 10^{-10}$ 之间,所以在实验范围内湿度对干燥速度的影响不大.

3 结论

本文利用烟草热湿处理特性在线分析装置,对5种白肋烟干燥动力学特性进行实验研究,得出如下结论.

1)在考察分析干燥介质温度对5种白肋烟干燥过程的影响规律基础上,利用修正的非克模型对此过程进行模拟,结果表明:模型中实验值与预测值之间 R^2 均大于0.99.在实验的温度范围内(100~160℃),有效扩散系数 D_e 随温度的升高而逐渐增大,并可以利用阿伦尼乌斯公式较好地模拟这种关系,其实验值与预测值之间的相关系数均大于0.95.

2)在考察分析干燥介质湿度对5种白肋烟干燥过程的影响规律基础上,利用修正的非克模型对

此过程进行模拟,结果表明:模型中实验值与预测值之间 R^2 均大于0.99.从恩施C2F样品中可以看出,在实验的湿度范围内(0.05~0.23 kg/kg干空气),有效扩散系数 D_e 随湿度的升高而逐渐降低,可以从模型预测中说明该白肋烟干燥速度随湿度的升高而减慢.在实验考察范围内,根据实验数据计算出的有效扩散系数 D_e 在 $2.01 \times 10^{-10} \sim 2.58 \times 10^{-10}$ 之间,所以在实验范围内湿度对干燥速度的影响不大.

参考文献:

- [1] 卢杰英,吴金良,王加深,等.白肋烟处理前后化学成分的变化规律探讨[J].烟草科技,2000(10):3.
- [2] 堵劲松,王宏生,王兵,等.白肋烟加工工艺技术研究[J].烟草科技,2001(6):3.
- [3] 李晓,姚光明,杜荣杰.酶解法处理白肋烟的实验研究[J].郑州轻工业学院学报:自然科学版,2006,21(2):33.
- [4] 陈建军.白肋烟烘焙关键工艺参数设置与加工质量[J].烟草科技,2007(6):12.
- [5] 曾强,王道宽,黄胜翰,等.滚筒式烘焙设备在白肋烟烘焙中的应用[J].干燥设备与技术,2010(3):117.
- [6] 中国烟草总公司郑州烟草研究院.烟草热湿处理特性在线分析装置:中国,200510107366.X[P].2006-06-28.
- [7] 李斌,王宏生,张兰晓,等.烟草热湿处理特性在线分析装置的研究与应用[J].烟草科技,2008(2):527.
- [8] Ertekin C. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model[J]. J of Food Eng, 2004, 63:349.
- [9] Crank J. Mathematics of diffusion[M]. 2nd ed. London: Oxford University Press, 1975.
- [10] 刘泽,李斌,于川芳.复合传热对薄层烟丝干燥强化传质作用的动力学分析[J].烟草科技,2009(9):5.

温度对烟用香精折光指数的影响

邱玲利, 尤长虹

(湖北中烟工业有限责任公司 质控中心, 湖北 武汉 430051)

摘要:为探讨不同温度对烟用香精折光指数的影响,对8个不同样品烟用香精进行实验:在10~30℃范围内改变烟用香精的测试温度,测定其相应的折光指数,对数据进行分析处理,得出温度与折光指数的线性方程,并将实测值与换算值进行比较.结果表明,温度与烟用香精的折光指数呈显著的线性负相关,不同样品折光指数受温度的影响不同,差别较大,相对密度<1的香精,其折光指数受温度影响的幅度较相对密度>1的香精大.

关键词:烟用香精;折光指数;回归分析

中图分类号:TS47 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.021

Effects of temperature on tobacco flavor refraction index

QIU Ling-li, YOU Chang-hong

(Quality Control Center, China Tobacco Hubei Ind. Co. Ltd., Wuhan 430051, China)

Abstract:To investigate the effects of different temperature on tobacco flavor refraction index, 8 different samples were tested. Temperature was changed from 10℃ to 30℃ when the refraction indexes were determined. The linear equations came out from data processing and analysis, at same time the measured value were compared with conversion value. The results showed that temperature had obvious linear negative correlation with refractive index. The effects of temperature on refractive index were much different for different samples. The effects on flavor with relative density lower than 1 were larger than that of flavor with relative density higher than 1.

Key words: tobacco flavor; refraction index; regression analysis

0 引言

各香精生产企业、卷烟生产企业为控制烟用香精的质量,通常需进行相对密度、折光指数、溶混度等物化指标的测定^[1-2].折光指数是有机化合物的重要物理常数之一,作为液体纯度的标志,它比沸点更为可靠.折光指数的测定受温度影响较大^[3],若不在20℃恒温检测的情况下,折光指数的检测结

果要进行换算.在工作中笔者发现换算值与20℃恒温测定值存在较大的差异.折光指数和密度属于凝聚型性能,与分子结构密切相关,且具有相同的结构基础,因此,两者之间必然存在着一定的关系.经文献检索仅发现关于烯烃密度与折光指数之间的定量关系^[4],未发现烟用香精密度与折光指数之间的定量关系.烟用香精折光指数与温度、密度之间的定量关系的探讨,对行业的科研与生产都有一定

收稿日期:2011-12-07

作者简介:邱玲利(1972—),女,湖北省武汉市人,湖北中烟工业有限责任公司助理工程师,主要研究方向为香精香料检验.

的指导意义^[5]. 本文拟探讨不同温度对烟用香精折光指数的影响,检测分析8个样品烟用香精在10~30℃温度下的折光指数,以期发现不同样品折光指数受温度影响的程度与其相对密度的关系.

1 实验

1.1 材料与仪器

材料:从采购自武汉卷烟厂的检验合格的香精中选取4个样品香精,分别为A,B,C,D;从笔者所在公司已调配好准备用于生产加料的料液和加香的香精中各选取2个样品,分别为E,F,G,H. 这8个样品每个大约250 mL.

仪器:采用奥地利 Antonpaar 公司生产的 DMA4500 Density Meter + RXA1700 + SP—3M Sample Changer 仪器,该仪器采用帕米尔内置恒温装置,温度控制精度为0.01℃.

1.2 方法

将准备好的样品分别盛入仪器专用样品瓶,取约25 mL,直接放入SP—3M中,按检测所需要的温度调整仪器的温度设置,实验温度范围为10~30℃. 仪器平衡到所需的温度后,进行实验样品检测.

2 结果与分析

2.1 温度对折光指数的影响

实验结果见图1. 由图1可以看出,在10~30℃范围内,8种烟用香精的折光指数均随温度的递增而有规律地递减,温度与折光指数呈线性负相关.

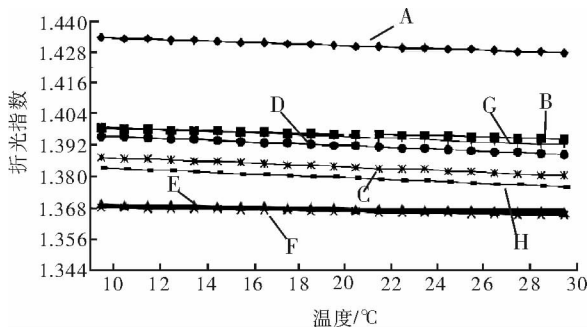


图1 温度对折光指数的影响

2.2 温度与折光指数的回归分析

由于温度与折光指数呈显著的线性相关,故对实验数据进行一元线性回归,得出如下各样品线性

方程:

$$A: n_D^{20} = n_D^t + 2.87 \times 10^{-4} (t - 20), R^2 = 0.999$$

$$B: n_D^{20} = n_D^t + 2.07 \times 10^{-4} (t - 20), R^2 = 0.999$$

$$E: n_D^{20} = n_D^t + 1.59 \times 10^{-4} (t - 20), R^2 = 0.995$$

$$F: n_D^{20} = n_D^t + 1.54 \times 10^{-4} (t - 20), R^2 = 0.995$$

$$C: n_D^{20} = n_D^t + 3.47 \times 10^{-4} (t - 20), R^2 = 0.999$$

$$D: n_D^{20} = n_D^t + 3.46 \times 10^{-4} (t - 20), R^2 = 1.000$$

$$G: n_D^{20} = n_D^t + 3.53 \times 10^{-4} (t - 20), R^2 = 1.000$$

$$H: n_D^{20} = n_D^t + 3.60 \times 10^{-4} (t - 20), R^2 = 1.000$$

式中, n_D^{20} 为20℃时的折光指数, n_D^t 为室温(t ℃)时的折光指数, t 为测定折光指数时的温度/℃.

由上述方程可以看出,随着温度的变化,8个样品的折光指数变化的幅度不同($1.54 \times 10^{-4} \sim 3.60 \times 10^{-4}$),不同的香精受温度的影响不同,差别也较大. 为研究其变化的规律,测试上述8个样品在20℃时的相对密度,结果见表1.

表1 相对密度与斜率(比例系数)之间的关系

样品	相对密度	斜率 $\times 10^{-4}$
A	1.141 4	2.87
B	1.137 2	2.07
E	1.074 4	1.59
F	1.069 3	1.54
D	0.978 5	3.46
G	0.954 8	3.53
C	0.9381	3.47
H	0.928 4	3.60

从表1可以看出,样品A,B,E,F的相对密度均 >1 ,其斜率为 $1.54 \times 10^{-4} \sim 2.87 \times 10^{-4}$;样品C,D,G,H的相对密度均 <1 ,其斜率为 $3.46 \times 10^{-4} \sim 3.60 \times 10^{-4}$. 相对密度 <1 的样品,其温度对折光指数影响幅度较相对密度 >1 的样品大.

2.3 折光指数换算值精确度分析

按照中华人民共和国烟草行业标准YC/T 145.3—1998,《烟用香精·折光指数的测定》^[6]附录B中规定:若在10~30℃的室温下测定折光指数,可按公式①换算为20℃时的折光指数

$$n_D^{20} = n_D^t + 4 \times 10^{-4} (t - 20) \quad \text{①}$$

对图1中的实测值按公式①,换算成20℃的折光指数,换算值减20℃的实测值为差值,结果见表2.

表2 8样品折光指数20℃时的实测值与换算值的比较

温度/℃	A			B			E			F		
	实测值	换算值	差值	实测值	换算值	差值	实测值	换算值	差值	实测值	换算值	差值
10	1.433 4	1.429 4	-0.001 2	1.398 5	1.394 5	-0.001 9	1.369 1	1.365 1	-0.004 0	1.367 8	1.363 8	-0.002 6
11	1.433 1	1.429 5	-0.001 1	1.398 3	1.394 7	-0.001 7	1.369	1.365 4	-0.002 2	1.367 6	1.364 0	-0.002 4
12	1.432 9	1.429 7	-0.000 9	1.398 1	1.394 9	-0.001 5	1.368 8	1.365 6	-0.002 0	1.367 5	1.364 3	-0.002 1
13	1.432 6	1.429 8	-0.000 8	1.397 9	1.395 1	-0.001 3	1.368 7	1.365 9	-0.001 7	1.367 4	1.364 6	-0.001 8
14	1.432 3	1.429 9	-0.000 7	1.397 7	1.395 3	-0.001 1	1.368 6	1.366 2	-0.001 4	1.367 3	1.364 9	-0.001 5
15	1.432 0	1.430 0	-0.000 6	1.397 5	1.395 5	-0.000 9	1.368 5	1.366 5	-0.001 1	1.367 2	1.365 2	-0.001 2
16	1.431 7	1.430 1	-0.000 5	1.397 3	1.395 7	-0.000 7	1.368 4	1.366 8	-0.000 8	1.367 0	1.365 4	-0.001 0
17	1.431 4	1.430 2	-0.000 4	1.397 1	1.395 9	-0.000 5	1.368 2	1.367 0	-0.000 6	1.366 9	1.365 7	-0.000 7
18	1.431 1	1.430 3	-0.000 3	1.396 9	1.396 1	-0.000 3	1.367 9	1.367 1	-0.000 5	1.366 6	1.365 8	-0.000 6
19	1.430 8	1.430 4	-0.000 2	1.396 6	1.396 2	-0.000 2	1.367 7	1.367 3	-0.000 3	1.366 5	1.366 1	-0.000 3
20	1.430 6	1.430 6	0.000 0	1.396 4	1.396 4	0.000 0	1.367 6	1.367 6	0.000 0	1.366 4	1.366 4	0.000 0
21	1.430 2	1.430 6	0.000 0	1.396 2	1.396 6	0.000 2	1.367 4	1.367 8	0.000 2	1.366 2	1.366 6	0.000 2
22	1.429 9	1.430 7	0.000 1	1.396 0	1.396 8	0.000 4	1.367 3	1.368 1	0.000 5	1.366 0	1.366 8	0.000 4
23	1.429 6	1.430 8	0.000 2	1.395 8	1.397 0	0.000 6	1.367 1	1.368 3	0.000 7	1.365 9	1.367 1	0.000 7
24	1.429 4	1.431 0	0.000 4	1.395 7	1.397 3	0.000 9	1.367 0	1.368 6	0.001 0	1.365 7	1.367 3	0.000 9
25	1.429 1	1.431 1	0.000 5	1.395 5	1.397 5	0.001 1	1.366 9	1.368 9	0.001 3	1.365 6	1.367 6	0.001 2
26	1.429 0	1.431 4	0.000 8	1.395 2	1.397 6	0.001 2	1.366 7	1.369 1	0.001 5	1.365 5	1.367 9	0.001 5
27	1.428 5	1.431 3	0.000 7	1.395 0	1.397 8	0.001 4	1.366 5	1.369 3	0.001 7	1.365 3	1.368 1	0.001 7
28	1.428 2	1.431 4	0.000 8	1.394 8	1.398 0	0.001 6	1.366 3	1.369 5	0.001 9	1.365 0	1.368 2	0.001 8
29	1.428 0	1.431 6	0.001 0	1.394 6	1.398 2	0.001 8	1.366 2	1.369 8	0.002 2	1.364 9	1.368 5	0.002 1
30	1.427 7	1.431 7	0.001 1	1.394 3	1.398 3	0.001 9	1.365 9	1.369 9	0.002 3	1.364 7	1.368 7	0.002 3
温度/℃	C			D			G			H		
	实测值	换算值	差值	实测值	换算值	差值	实测值	换算值	差值	实测值	换算值	差值
10	1.387 2	1.383 2	-0.000 4	1.395 3	1.391 3	-0.000 6	1.399 1	1.395 1	-0.000 4	1.383 1	1.379 1	-0.000 5
11	1.386 8	1.383 2	-0.000 4	1.395 0	1.391 4	-0.000 5	1.398 7	1.395 1	-0.000 4	1.382 8	1.379 2	-0.000 4
12	1.386 5	1.383 3	-0.000 3	1.394 6	1.391 4	-0.000 5	1.398 4	1.395 2	-0.000 3	1.382 4	1.379 2	-0.000 4
13	1.386 1	1.383 3	-0.000 3	1.394 3	1.391 5	-0.000 4	1.398 0	1.395 2	-0.000 3	1.382 1	1.379 3	-0.000 3
14	1.385 8	1.383 4	-0.000 2	1.394 0	1.391 6	-0.000 3	1.397 7	1.395 3	-0.000 2	1.381 7	1.379 3	-0.000 3
15	1.385 5	1.383 5	-0.000 1	1.393 6	1.391 6	-0.000 3	1.397 3	1.395 3	-0.000 2	1.381 4	1.379 4	-0.000 2
16	1.385 1	1.383 5	-0.000 1	1.393 3	1.391 7	-0.000 2	1.397 0	1.395 4	-0.000 1	1.381 0	1.379 4	-0.000 2
17	1.384 8	1.383 6	0.000 0	1.392 9	1.391 7	-0.000 2	1.396 6	1.395 4	-0.000 1	1.380 6	1.379 4	-0.000 2
18	1.384 4	1.383 6	0.000 0	1.392 6	1.391 8	-0.000 1	1.396 2	1.395 4	-0.000 1	1.380 2	1.379 4	-0.000 2
19	1.384 0	1.383 6	0.000 0	1.392 2	1.391 8	-0.000 1	1.395 9	1.395 5	0.000 0	1.379 9	1.379 5	-0.000 1
20	1.383 6	1.383 6	0.000 0	1.391 9	1.391 9	0.000 0	1.395 5	1.395 5	0.000 0	1.379 6	1.379 6	0.000 0
21	1.383 4	1.383 8	0.000 2	1.391 6	1.392 0	0.000 1	1.395 2	1.395 6	0.000 1	1.379 2	1.379 6	0.000 0
22	1.383 0	1.383 8	0.000 2	1.391 2	1.392 0	0.000 1	1.394 8	1.395 6	0.000 1	1.378 8	1.379 6	0.000 0
23	1.382 7	1.383 9	0.000 3	1.390 9	1.392 1	0.000 2	1.394 5	1.395 7	0.000 2	1.378 5	1.379 7	0.000 1
24	1.382 6	1.384 2	0.000 6	1.390 5	1.392 1	0.000 2	1.394 2	1.395 8	0.000 3	1.378 1	1.379 7	0.000 1
25	1.382 0	1.384 0	0.000 4	1.390 2	1.392 2	0.000 3	1.393 8	1.395 8	0.000 3	1.377 8	1.379 8	0.000 2
26	1.381 6	1.384 0	0.000 4	1.389 8	1.392 2	0.000 3	1.393 4	1.395 8	0.000 3	1.377 4	1.379 8	0.000 2
27	1.381 3	1.384 1	0.000 5	1.389 4	1.392 2	0.000 3	1.393 1	1.395 9	0.000 4	1.377 0	1.379 8	0.000 2
28	1.380 9	1.384 1	0.000 5	1.389 1	1.392 3	0.000 4	1.392 7	1.395 9	0.000 4	1.376 7	1.379 9	0.000 3
29	1.380 5	1.384 1	0.000 5	1.388 7	1.392 3	0.000 4	1.392 4	1.396 0	0.000 5	1.376 3	1.379 9	0.000 3
30	1.380 2	1.384 2	0.000 6	1.388 4	1.392 4	0.000 5	1.392 0	1.396 0	0.000 5	1.375 9	1.379 9	0.000 3

(下转第90页)

烟用材料编码及应用

韩云辉¹, 韩磊², 范黎¹, 翟玉俊²

- (1. 中国烟草总公司 郑州烟草研究院, 河南 郑州 450001;
2. 甘肃烟草工业有限责任公司 技术中心, 甘肃 兰州 730050)

摘要:依据信息分类和信息编码的基本原则,采用线分类法将烟用材料分为大类和小类两级,采用四位层次码结构进行编码;按照 EAN/UCC—13 商品标识代码编码原则对烟用材料产品进行编码,即“厂商识别代码+商品项目代码+校验码”共 13 位阿拉伯数字组成;烟用材料物流单元代码采用“标记位+烟用材料产品代码+生产(包装)日期+质量、数量、顺序码+校验码”共 30 位阿拉伯数字组成.应用发现,烟用材料编码与卷烟产品代码和卷烟箱用条码协调一致,实现“信息共享、业务联动、交叉稽核、统一管理”,提高了企业管理和服务的整体效能.

关键词:烟用材料;编码规则;产品代码;物流单元条码

中图分类号:TS411 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.022

Coding and applications of cigarette materials

HAN Yun-hui¹, HAN Lei², FAN Li¹, ZHAI Yu-jun²

- (1. Zhengzhou Tobacco Research Inst. of CNTC, Zhengzhou 450001, China;
2. Tech. Center, Gansu Tobacco Ind. Co., Ltd., Lanzhou 730050, China)

Abstract: On the basis of basic principles of information classification and coding, cigarette materials were divided into two grades of kinds; big and small class by using method of linear classification, and coded with four places code structure. Cigarette materials product were coded according to the coding principles of EAN/UCC-13 identification code for commodity. This code consisted of 13 digits as manufacturer identification code plus item code plus check code. The logistic unit code of cigarette materials consisted of 30 digits as mark plus cigarette material product code plus production (packaging) date plus quality, quantity, order code plus check code. From applications, it was found that cigarette materials codes and cigarette product codes and cigarette carton bar code were in harmony it could realize information sharing, business linkage, cross audit and unified management it improved the overall efficiency of enterprise management and service.

Key words: cigarette materials; coding rule; product code; barcode label of logistic unit

0 引言

烟用材料^[1-2]指除烟丝之外,用于加工或包装

卷烟的各种材料,如烟用丝束、烟用滤棒、卷烟用纸、烟用包装材料、烟用胶粘剂、烟草添加剂、烟用印刷油墨等,共有 7 大类、22 个中类、若干个小类和

上百种产品. 烟用材料是生产卷烟产品不可缺少的重要组成部分, 在新产品开发、产品结构调整等过程中起着重要的作用, 直接影响卷烟产品的质量和生产成本. 1980 年代初期, 我国卷烟工业使用的高档烟用材料基本依赖进口, “七五”至“十一五”期间, 烟草行业在“立足国内、开发资源, 实现烟用材料国产化”的方针指导下, 逐步实现了烟用材料生产基地化、品种系列化、质量控制标准化、物资供应配套化的目标, 我国烟用材料的生产、供应及产品质量取得了重大进展和提高.

随着计算机应用技术的发展及烟草行业生产管理信息系统的应用, 迫切需要对各种烟用材料赋予计算机检索需要的代码, 建立与卷烟产品代码和卷烟箱用条码标签类似的烟用材料产品代码、烟用材料物流单元代码及条码标签识别系统, 规范供需双方对烟用材料的编码原则和方法, 保证企业利用代码标识技术迅速查询各种烟用材料代码信息, 提高企业管理和服务的整体效能. 这不但是烟草行业信息标准化工作的主要内容, 也是系统集成、信息共享、数据交换的保证, 同时也是中国烟草物流与国际物流接轨的重要体现. 鉴于此, 本文拟对烟用材料编码方法及应用予以阐释.

1 烟用材料编码原则与方法

1.1 编码基本原则

信息分类是根据烟用材料的信息属性或特征, 把具有某种共同属性或特征的信息归并在一起, 把具有不同属性或特征的信息区别开来的过程. 信息分类有 2 个要素, 一是分类对象, 二是分类的依据. 分类对象由若干个被分类的实体组成, 分类依据取决于分类对象的属性或特征. 信息编码^[3]是将事物或编码对象赋予具有一定规律性、易于人或计算机识别处理的符号, 形成代码源集合. 给事物或编码对象赋予代码的过程就是编码.

烟用材料编码, 要按照烟用材料的用途、工艺特性、卷烟生产企业使用习惯、企业管理和统计方便, 以及在流通领域有稳定性、唯一性的特点进行编码, 既要考虑计算机处理信息使用方便, 还要兼顾手工处理信息的需求. 烟用材料编码应遵循唯一性、合理性、可扩充性、简明性、适用性和规范性的基本原则, 在对烟用材料编码应用现状广泛调研的基础上, 以先进的信息管理技术为依托, 按照烟用

材料的用途和属性进行科学分类, 兼顾企业在管理和使用上的要求, 确定科学的烟用材料编码方法.

烟用材料产品编码分为分类代码和标识代码. 产品分类代码是依据不同管理要求, 以科学的分类目录为基础的代码; 产品标识代码是基于规范化、标准化产品名称及属性的描述, 实现对产品及其相关信息在整个生命周期管理的唯一标识代码, 它是产品电子标签和条码的基础.

1.2 烟用材料的分类与编码

根据国家标准^[4]信息分类和编码的基本原则与方法, 采用线分类法将烟用材料分为大类和小类 2 级, 采用 4 位层次码结构进行编码, 共分大类、小类码 2 层, 各以 2 位阿拉伯数字表示. 烟用材料层次码结构见图 1, 烟用材料分类代码见表 1.

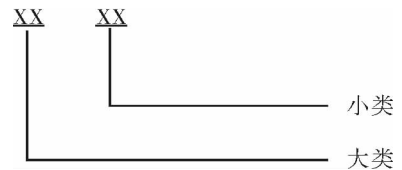


图 1 烟用材料层次码结构

1.3 烟用材料物流单元编码

烟用材料物流单元指供应链管理中运输、仓储、投料使用的一个烟用材料包装单元. 烟用材料物流单元代码由 1 位英文字母和 29 位阿拉伯数字依次连接而成, 不留空格. 其结构如图 2 所示.

X_1 位: 标记位. 用 1 位英文字母表示, 作为解析码.

$X_2 - X_{13}$ 位: 烟用材料产品代码. 用 12 位阿拉伯数字表示, 用以标识烟用材料的品种规格.

$X_{14} - X_{18}$ 位: 生产(或包装)日期. 用 5 位阿拉伯数字表示, 如: 71017, 代表 2007 年 10 月 17 日.

$X_{19} - X_{29}$ 位: 烟用材料物流单元代码特定部分, 由 11 位阿拉伯数字组成, 表示质量、数量和顺序码. 由于烟用材料的品种、包装形式、计量单位不同, 该部分代码结构形式也有所不同, 主要有 3 + 8 结构、3 + 4 + 4 结构、4 + 7 结构、2 + 4 + 5 结构和 2 + 9 结构等 11 种.

X_{30} 位: 校验码. 用 1 位阿拉伯数字表示, 计算方法按照 GB/T 15425—2002^[5]中附录 C 的规定进行.

1.4 烟用材料物流单元条码标签

烟用材料物流单元条码标签由烟用材料供应商生成, 以一维条码符号为主构成, 也可同时包含文

表1 烟用材料分类代码(示例)

大类	小类	材料名称
01		烟用丝束
01	01	二醋酸纤维素丝束
01	02	聚丙烯纤维丝束
01	.....	.....
02		烟用滤棒
02	01	普通滤棒
02	02	特种滤棒
02	.....	.....
03		卷烟用纸
03	01	卷烟纸
03	02	接装纸
03	03	成形纸
03	.....	.....
04		烟用包装材料
04	01	烟用内衬纸
04	02	烟用框架纸
04	03	卷烟条/盒包装纸
04	04	烟用封签纸
04	05	烟用包装膜
04	06	烟用拉线
04	07	卷烟用瓦楞纸箱
04	.....	.....
05		烟用胶粘剂
05	01	烟用水基胶
05	02	烟用热熔胶
05	03	烟用三乙酸甘油
05	.....	.....
06		烟草添加剂
06	01	烟用香料
06	02	烟用香精
06	.....	.....
07		烟用印刷油墨
07	.....	.....

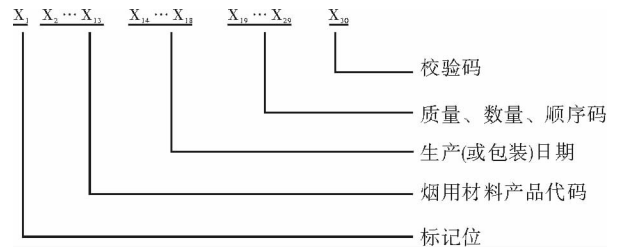


图2 烟用材料物流单元代码的结构

的距离应不小于 50 mm. 如果物流单元已经使用 EAN—13^[6]等其他条码符号, 标签应贴在上述条码的旁边, 不应覆盖原有的条码, 并保持水平位置一致.

2 烟用材料编码应用

2.1 烟用材料产品代码应用

烟用材料产品代码按照 EAN/UCC—13 商品标识代码的编制原则进行编码, 即“厂商识别代码 + 商品项目代码 + 校验码”共 13 位阿拉伯数字组成. “厂商识别代码(含前缀码)”, 由 7—9 位数字组成, 由中国物品编码中心负责分配和管理. “前缀码”由 3 位数字 ($X_{13} X_{12} X_{11}$) 组成, 是国际物品编码协会 EAN 分配给各国的编码, EAN 分配我国的前缀码为 690—695. “商品项目代码”为无含义顺序码, 由 3—5 位数字组成, 各企业可根据烟用材料的分类自行编制, 确保每一种产品有一个唯一的烟用材料产品代码. “校验码”由 1 位数字组成 (X_1), 计算方法按照国家标准^[7]的规定. 烟用材料产品代码示例见表 2.

2.2 烟用材料物流单元代码及条码标签应用

运用烟用材料物流单元代码编制方法, 可以对任意一批烟用材料进行编码, 产生的唯一代码可以供生产及使用单位检索, 也可用于查询该烟用材料的库存、收货、发货等相关信息. 烟用材料物流单元代码及条码标签应用示例见图 3.

图 3 表示一个包含有卷烟纸物流单元条码标签的信息, “G”代表托盘包装卷烟纸, 烟用材料产品代码“690123456789”表示生产厂商和商品项目等相关信息, 生产日期为 2007 年 10 月 22 日, “140 盘/托盘”、“00000001”表示顺序码, 最后一位“2”为校验码.

3 结语

随着烟草行业信息化速度的不断加快, 烟用材

字、图形等用于标识烟用材料物流单元唯一性的纸制图标.

一个烟用材料物流单元通常需要 2 个或 2 个以上标签标识, 多个标签宜固定在相邻的不同侧面上.

如果实际情况不允许, 每个烟用材料物流单元最少要有 1 个标签. 对于高度低于 1 m 的纸箱与其他形式的物流单元, 标签的底边应距离物流单元的底部 32 mm, 标签与物流单元垂直边线的距离不小于 19 mm. 托盘和其他高度超过 1 m 的物流单元, 标签应位于距离物流单元底部或托盘表面 400 ~ 800 mm 的位置, 标签与物流单元垂直底面的边线

表2 烟用材料产品代码示例

EAN/UCC-13 代码结构	厂商识别代码(含前缀码)	商品项目代码	校验码
结构1	$X_{13}X_{12}X_{11}X_{10}X_9X_8X_7$ (7位)	$X_6X_5X_4X_3X_2$ (5位)	X_1 (1位)
结构2	$X_{13}X_{12}X_{11}X_{10}X_9X_8X_7X_6$ (8位)	$X_5X_4X_3X_2$ (4位)	X_1 (1位)
结构3	$X_{13}X_{12}X_{11}X_{10}X_9X_8X_7X_6X_5$ (9位)	$X_4X_3X_2$ (3位)	X_1 (1位)

注: EAN/UCC-13 指 13 位的数据结构, EAN-13 表示该数据结构的一种条码符号, 即通常所说的标准版商品条码。



图3 烟用材料物流单元条码标签示例

料编码的重要性已经被越来越多人所重视。烟用材料物流单元代码编制原则与方法的建立, 顺应了烟草行业信息化建设的发展需求, 它的应用更能使烟草行业实现“信息共享、业务联动、交叉稽核、统一

管理”, 从而提高企业管理和服务的整体效能, 因此, 该编码规则具有非常广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 韩云辉, 范黎, 刘刚毅, 等. YC/T 195—2005 烟用材料标准体系[M]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

[2] 韩云辉, 陈连芳, 邢军. 烟用材料生产技术与应用[M]. 北京: 中国质检出版社, 中国标准出版社, 2012.

[3] 李军峰. 基于制造业企业信息化物资材料信息编码技术的研究[J]. 网络与信息, 2009(2): 7.

[4] 李小林, 冯卫, 胡嘉璋. GB/T 7027—2002 信息分类和编码的基本原则与方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.

[5] 郭卫华, 文向阳, 张成海, 等. GB/T 15425—2002 EAN · UCC 系统 128 条码[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.

[6] 辜菊水, 韩云辉, 李卫国, 等. YC/T 209. 2—2008 烟用材料编码(第2部分): 烟用材料物流单元代码与条码标签[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[7] 张成海, 黄燕滨, 罗秋科, 等. GB 12904—2008 商品条码零售商品编码与条码表示[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

(上接第 86 页)

标准 YC/T 145. 3—1998 规定: 折光指数测定的精确度为 $\pm 0.000 2$ 。由表 2 差值可以看出, 对室温下测定的折光指数, 若采用公式①换算成 20 °C 时的折光指数, 则很难满足 $\pm 0.000 2$ 的要求。因此折光指数的测定要想满足精确度 $\pm 0.000 2$, 最好采用 20 °C 恒温检测。

3 结论

本文探讨了温度对烟用香精折光指数的影响。在 10 ~ 30 °C 范围内对 8 个不同样品进行了实验, 结果表明: 温度与烟用香精的折光指数呈显著的线性负相关, 不同样品折光指数受温度的影响不同, 差别较大, 相对密度 < 1 的香精, 其折光指数受温度的

影响的幅度较相对密度 > 1 的香精大。

参考文献:

[1] 张槐苓, 葛翠英, 穆怀静, 等. 烟草分析与检验[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1994.

[2] 尤长虹, 姚光明, 彭传新, 等. 卷烟生产质量管理[M]. 武汉: 湖北辞书出版社, 2001.

[3] 张铁垣. 化验工作实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.

[4] 王克强, 吴立文. 烯烃的折光指数与密度之间定量关系的研究[J]. 黄淮学刊: 自然科学版, 1998(S4): 39.

[5] 桂文兵, 李晓, 张春明. 几种烟草自有致香成分单体卷烟加香中的应用[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2011, 26(1): 13.

[6] YC/T 145. 3—1998, 烟用香精 · 折光指数的测定[S].

一类时滞中立型模糊切换系统的保性能控制

孟晓玲, 周长芹, 毛北行

(郑州航空工业管理学院 数理系, 河南 郑州 450015)

摘要:针对一类时滞中立型模糊切换系统的保性能控制问题,依据 Lyapunov 稳定性理论,以线性矩阵不等式的形式给出了该系统渐稳的充分条件和切换律的设计方案.

关键词:时滞中立型模糊切换系统;保性能控制;Lyapunov 稳定性理论

中图分类号: O23.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.023

Guaranteed cost control of fuzzy switched systems for delay neutral model

MENG Xiao-ling, ZHOU Chang-qin, MAO Bei-xing

(Dept. of Mathe. and Phy., Zhengzhou Inst. of Aer. Ind. Mana., Zhengzhou 450015, China)

Abstract: Aiming at the problem of the guaranteed cost control of delay neutral fuzzy switched systems, the system gradual stability sufficient condition and the switching law design scheme are given with linear matrix inequality (LMI) by using the Lyapunov stability theory.

Key words: delay neutral fuzzy switched system; guaranteed cost control; Lyapunov stability theory

0 引言

近年来,时滞中立系统受到了广泛的关注,但针对时滞中立系统的研究多集中于稳定性分析,以寻找系统渐近稳定的条件.另一方面,切换系统是混杂动态系统中一种重要的类型,如果切换子系统都是时滞中立系统,则这种切换系统称为时滞中立型切换系统.文献[1]研究了不确定中立型系统的鲁棒稳定性,文献[2]研究了一类线性中立型摄动系统基于 LMI 方法的反馈镇定问题,文献[3-5]研究了一类切换线性中立时滞系统的稳定性分析,文献[6]研究了时滞中立系统的费易碎保成本控制问题.本文拟研究时滞中立模糊切换系统的保性能控制问题,给出系统稳定的充分条件以及切换律的设计方案,以使闭环稳定.

1 问题的描述

考虑时滞中立型模糊切换系统

R^i : if $\xi_1(k)$ is $M_{\sigma_1}^i \cdots$ and $\xi_p(k)$ is $M_{\sigma_p}^i$, then

$$\dot{x}(t) = A_{\sigma_i} x(t) + A_{\sigma_i}^h x(t - \tau) + A_{\sigma_i}^d \dot{x}(t - \tau) + B_{\sigma_i} u(t)$$

$$x(t) = \varphi(t) \quad t \in [-\tau, 0]$$

其中,模糊规则数 $i \in I = \{1, 2, \dots, s\}$; $M_{\sigma_j}^i$ 是模糊集合;模糊前件变量 $\xi_j(t) \in R^p$; 状态向量 $x(t) \in R^n$; 系统的控制输出 $u(t) \in R^m$; $h > 0$ 为时滞常数; $A_{\sigma_i}, A_{\sigma_i}^h, A_{\sigma_i}^d, B_{\sigma_i}$ 为常数矩阵; $\sigma: [0, \infty) \rightarrow \{1, 2, \dots, m\}$ 为切换信号. 本文考虑依赖于状态的切换信号 $\sigma = \sigma(x(t))$, 设 $\{\tilde{\Omega}_1, \dots, \tilde{\Omega}_l\}$ 是 R^n 的一个分割, 即 $\bigcup_{i=1}^l \tilde{\Omega}_i = R^n \setminus \{0\}$, 且 $\tilde{\Omega}_i \cap \tilde{\Omega}_j = \Phi, i \neq j$, 当 $x(t) \in$

收稿日期: 2012-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(51072184)

作者简介: 孟晓玲(1976—), 女, 安徽省安庆市人, 郑州航空工业管理学院讲师, 硕士, 主要研究方向为复杂系统.

$\tilde{\Omega}_\sigma$ 切换信号为 $\sigma = \sigma(\mathbf{x}(t))$, 这一切换信号可由函数

$$v_\sigma(\mathbf{x}(t)) = \begin{cases} 1 & \mathbf{x}(t) \in \tilde{\Omega}_\sigma \\ 0 & \mathbf{x}(t) \notin \tilde{\Omega}_\sigma \end{cases}$$

得到. 通过单点模糊化、乘积推理和中心平均反模糊化方法, 模糊系统的总体模型为

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \sum_{\sigma=1}^l \sum_{i=1}^s v_\sigma(\mathbf{x}(t)) h_i(\xi(t)) [A_{\sigma i} \mathbf{x}(t) + B_{\sigma i} u(t) + A_{\sigma i}^h \mathbf{x}(t-\tau) + A_{\sigma i}^d \dot{\mathbf{x}}(t-\tau)]$$

其中

$$[A(h), A_h(h), A_d(h), B(h)] = \sum_{\sigma=1}^l \sum_{i=1}^s v_\sigma(\mathbf{x}(t)) h_i(\xi(t)) [A_{\sigma i}, A_{\sigma i}^h, A_{\sigma i}^d, B_{\sigma i}]$$

所以

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = A(h)\mathbf{x}(t) + B(h)u(t) + A^h(h)\mathbf{x}(t-\tau) + A^d(h)\dot{\mathbf{x}}(t-\tau)$$

设计状态反馈控制器

$$u(t) = \sum_{\sigma=1}^l \sum_{i=1}^s v_\sigma(\mathbf{x}(k)) h_i(\xi(k)) K_{\sigma i} \mathbf{x}(t)$$

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \sum_{\sigma=1}^l \sum_{i=1}^s v_\sigma(\mathbf{x}(t)) h_i(\xi(t)) [A_{\sigma i} \mathbf{x}(t) + A_{\sigma i}^h u\mathbf{x}(t-\tau) + A_{\sigma i}^d \dot{\mathbf{x}}(t-\tau)] \quad \textcircled{1}$$

其中, $A_{\sigma i} = A_{\sigma i} + B_{\sigma i} K_{\sigma i}$.

对于系统①定义二次型性能指标函数

$$J = \int_0^\infty [\mathbf{x}^T(t) S_1 \mathbf{x}(t) + u^T(t) S_2 u(t)] dt$$

其中 S_1, S_2 是给定的对称正定矩阵.

引理 1^[7] 对给定的对称矩阵 $S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$,

其中 S_{11} 是 $r \times r$ 维的, 则以下 3 个条件等价:

- 1) $S < 0$;
- 2) $S_{11} < 0, S_{22} - S_{12}^T S_{11}^{-1} S_{12} < 0$;
- 3) $S_{22} < 0, S_{11} - S_{12} S_{22}^{-1} S_{12}^T < 0$.

2 主要结果

定理 1 若存在对称正定的矩阵 $P_i > 0, Q_i > 0, R_i > 0$, 假设存在同时非负或者非正的实数 $\beta_{\sigma\lambda} (\sigma = 1, \dots, l; \lambda = 1, \dots, s_\sigma)$, 矩阵 $P_{\sigma i} > 0, P_{\lambda i} > 0 (i \in I)$ 满足不等式

$$\begin{bmatrix} \Omega & P_i A_h(h) & P_i A_d(h) & A_c(h)^T R_i \\ * & -Q_i & 0 & A_h(h)^T R_i \\ * & * & -R_i & A_d(h)^T R_i \\ * & * & * & -R_i \end{bmatrix} < 0 \quad \textcircled{2}$$

其中, $\Omega = P_i A_c(h) + A_c(h)^T P_i + Q_i + S_1 + K_i^T S_2 K_i + \sum_{\lambda=1, \lambda \neq \sigma}^l \beta_{\sigma\lambda} (P_{\lambda i} - P_{\sigma i})$, 则

$$u(t) = \sum_{\sigma=1}^l \sum_{i=1}^s v_\sigma(\mathbf{x}(k)) h_i(\xi(k)) K_{\sigma i} \mathbf{x}(t)$$

是闭环系统①的保性能控制器, 相应的系统性能上界是

$$J^* = \mathbf{x}(0)^T P_i \mathbf{x}(0) + \int_{-\tau}^0 \mathbf{x}(s)^T Q_i \mathbf{x}(s) ds + \int_{-\tau}^0 \dot{\mathbf{x}}(s)^T R_i \dot{\mathbf{x}}(s) ds$$

证明 不失一般性, 假设 $\beta_{\sigma\lambda} \geq 0$, 对任意

$$\boldsymbol{\eta}(t) = [\mathbf{x}^T(t) \quad \mathbf{x}^T(t-\tau) \quad \dot{\mathbf{x}}^T(t-\tau)]^T \in R^n \setminus \{0\}$$

至少存在一个 $\sigma \in M$ 使得 $\boldsymbol{\eta}^T(t) (P_{\lambda i} - P_{\sigma i}) \boldsymbol{\eta}(t) \geq 0$, 令

$$\Omega_\sigma = \{ \boldsymbol{\eta}(t) \in R^n \mid \boldsymbol{\eta}^T(t) (P_{\lambda i} - P_{\sigma i}) \boldsymbol{\eta}(t) \geq 0, \forall \boldsymbol{\eta}(t) \neq 0 \}$$

则 $\cup_\sigma \Omega_\sigma = R^n \setminus \{0\}$, 构造集合

$$\tilde{\Omega}_1 = \tilde{\Omega}_1, \tilde{\Omega}_2 = \Omega_2 - \tilde{\Omega}_1, \dots, \tilde{\Omega}_\sigma = \Omega_\sigma - \bigcup_{i=1}^{\sigma-1} \tilde{\Omega}_i$$

显然有 $\bigcup_{i=1}^l \tilde{\Omega}_i = R^n \setminus \{0\}$ 且 $\tilde{\Omega}_i \cap \tilde{\Omega}_j = \emptyset, i \neq j$.

构造切换律 $\sigma(\dot{\mathbf{x}}(t)) = \sigma$, 当 $\boldsymbol{\eta}(t) \in \tilde{\Omega}_\sigma, \sigma \in M$. 构造 Lyapunov 函数:

$$V(\mathbf{x}(t)) = \mathbf{x}^T(t) P_i \mathbf{x}(t) + \int_{t-\tau}^t \mathbf{x}^T(s) Q_i \mathbf{x}(s) ds + \int_{t-\tau}^t \dot{\mathbf{x}}^T(s) R_i \dot{\mathbf{x}}(s) ds$$

$$\dot{V} = \boldsymbol{\eta}^T(t) \Gamma(h) \boldsymbol{\eta}(t)$$

$$\boldsymbol{\eta}(t) = [\mathbf{x}^T(t) \quad \mathbf{x}^T(t-\tau) \quad \dot{\mathbf{x}}^T(t-\tau)]^T$$

$$\Gamma(h) = \begin{bmatrix} \Delta & P_i A_h(h) & P_i A_d(h) \\ * & -Q_i & 0 \\ * & * & -R_i \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} A_c^T(h) \\ A_h^T(h) \\ A_d^T(h) \end{bmatrix} R_i \begin{bmatrix} A_c(h) \\ A_h(h) \\ A_d(h) \end{bmatrix}^T$$

其中, $\Delta = P_i A_c(h) + A_c(h)^T P_i + Q_i + S_1 + K_i^T S_2 K_i$.

很容易由②得到

$$\Gamma(h) < \begin{bmatrix} -S_1 - K_i^T S_2 K_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} < 0$$

所以系统①渐稳.

$$u(t) = \sum_{\sigma=1}^l \sum_{i=1}^S v_{\sigma}(\mathbf{x}(k)) h_i(\xi(k)) K_{\sigma i} \mathbf{x}(t)$$

是系统①的保性能控制器,相应的系统性能上界是

$$J^* = \mathbf{x}(0)^T \mathbf{P}_i \mathbf{x}(0) +$$

$$\int_{-\tau}^0 \mathbf{x}(s)^T \mathbf{Q}_i \mathbf{x}(s) ds + \int_{-\tau}^0 \dot{\mathbf{x}}(s)^T \mathbf{R}_i \dot{\mathbf{x}}(s) ds$$

定理 2 若存在矩阵 $\mathbf{X}_i > 0, \mathbf{Y}_i > 0, \mathbf{Z}_i > 0, \mathbf{M}_i$

以及标量 $\varepsilon_{ij} > 0$, 假设存在同时非负或者非正的实数 $\beta_{\sigma\lambda} (\sigma=1, \dots, l; \lambda=1, \dots, s_{\sigma})$, 矩阵 $\mathbf{P}_{\sigma i} > 0, \mathbf{P}_{\lambda i} > 0 (i \in I)$ 满足不等式

$$\Pi_{ii} < 0, i, j = 1, \dots, N; \Pi_{ij} + \Pi_{ji} < 0, i < j < N \quad (3)$$

$$\Pi_{ij} = \begin{bmatrix} \Psi_1 & A_{hi} \mathbf{X}_i & A_{di} \mathbf{Z}_i & \Psi_2 & \mathbf{X}_i \mathbf{S}_1 & \Psi_3 \\ * & -\mathbf{Y}_i & 0 & \Sigma_1 & 0 & 0 \\ * & * & -\mathbf{Z}_i & \Sigma_2 & 0 & 0 \\ * & * & * & -\mathbf{Z}_i & 0 & 0 \\ * & * & * & * & -\mathbf{S}_1 & 0 \\ * & * & * & * & * & -\mathbf{S}_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中 $\Psi_1 = \mathbf{A}_{\sigma i} \mathbf{X}_i + \mathbf{X}_i \mathbf{A}_{\sigma i}^T + \mathbf{B}_{\sigma i} \mathbf{M}_j +$

$$\mathbf{M}_j^T \mathbf{B}_{\sigma i}^T + \mathbf{Y}_i + \sum_{\lambda=1, \lambda \neq \sigma}^l \beta_{\sigma\lambda} (\mathbf{P}_{\lambda i} - \mathbf{P}_{\sigma i})$$

$$\Psi_2 = \mathbf{X}_i \mathbf{A}_{\sigma i}^T + \mathbf{M}_j^T \mathbf{B}_{\sigma i}^T \quad \Psi_3 = \mathbf{M}_j^T \mathbf{S}_2$$

$$\Sigma_1 = \mathbf{X}_i \mathbf{A}_{hi}^T \quad \Sigma_2 = \mathbf{Z}_i \mathbf{A}_{di}^T$$

证明 构造 Lyapunov 函数

$$V(\mathbf{x}(t)) = \mathbf{x}^T(t) \mathbf{P}_i \mathbf{x}(t) +$$

$$\int_{t-\tau}^t \mathbf{x}^T(s) \mathbf{Q}_i \mathbf{x}(s) ds + \int_{t-\tau}^t \dot{\mathbf{x}}^T(s) \mathbf{R}_i \dot{\mathbf{x}}(s) ds$$

令 $\mathbf{P}_i = \mathbf{X}_i^{-1}, \mathbf{Q}_i = \mathbf{X}_i^{-1} \mathbf{Y}_i \mathbf{X}_i^{-1}, \mathbf{R}_i = \mathbf{Z}_i^{-1}$, 利用 shur

补引理由③④很容易得到②, 则

$$u(t) = \sum_{\sigma=1}^l \sum_{i=1}^S v_{\sigma}(\mathbf{x}(k)) h_i(\xi(k)) \mathbf{M}_i \mathbf{X}_i^{-1} \mathbf{x}(t)$$

是系统①的保性能控制器,相应的系统性能上界是

$$J^* = \mathbf{x}(0)^T \mathbf{X}_i^{-1} \mathbf{x}(0) +$$

$$\int_{-\tau}^0 \mathbf{x}(s)^T \mathbf{X}_i^{-1} \mathbf{Y}_i \mathbf{X}_i^{-1} \mathbf{x}(s) ds +$$

$$\int_{-\tau}^0 \dot{\mathbf{x}}(s)^T \mathbf{Z}_i^{-1} \dot{\mathbf{x}}(s) ds$$

3 仿真算例

考虑如下模糊规则的时滞中立系统

规则 1 如果 $\mathbf{x}_1(t)$ 为 $\Gamma_{\sigma 1}^1$ (e. g, small), 则

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}_{\sigma 1} \mathbf{x}(t) + \mathbf{A}_{\sigma 1}^h \mathbf{x}(t-\tau) + \mathbf{A}_{\sigma 1}^d \dot{\mathbf{x}}(t-\tau) + \mathbf{B}_{\sigma 1} u(t)$$

规则 2 如果 $\mathbf{x}_1(t)$ 为 $\Gamma_{\sigma 2}^2$ (e. g, big), 则

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}_{\sigma 2} \mathbf{x}(t) + \mathbf{A}_{\sigma 2}^h \mathbf{x}(t-\tau) + \mathbf{A}_{\sigma 2}^d \dot{\mathbf{x}}(t-\tau) + \mathbf{B}_{\sigma 2} u(t)$$

$$\mathbf{A}_{\sigma 1} = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.3 \\ 0.1 & 0.2 \end{bmatrix} \quad \mathbf{A}_{\sigma 2} = \begin{bmatrix} 0.8 & 0 \\ -0.2 & 0.6 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A}_{\sigma 1}^h = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 \\ -0.5 & 0.1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{A}_{\sigma 2}^h = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 \\ 0 & -0.3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A}_{\sigma 1}^d = \begin{bmatrix} -0.2 & 0.8 \\ 0.6 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{A}_{\sigma 2}^d = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.2 \\ -0.3 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_{\sigma 1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0.3 & 0.6 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B}_{\sigma 2} = \begin{bmatrix} 0.6 & -0.8 \\ 0.2 & 0.5 \end{bmatrix} \quad \tau = 3.6$$

隶属度函数如下:

$$\mu_1(x(t)) = \begin{cases} \frac{1}{3} & x_1 < -1 \\ \frac{2}{3} + \frac{1}{3}x_1 & |x_1| \leq 1 \\ 1 & x_1 > 1 \end{cases}$$

$$\mu_2(x(t)) = \begin{cases} \frac{2}{3} & x_1 < -1 \\ \frac{1}{3} - \frac{1}{3}x_1 & |x_1| \leq 1 \\ 0 & x_1 > 1 \end{cases}$$

可行解如下:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 0.0325 & 0.0035 \\ 0.0035 & 0.0213 \end{bmatrix} > 0$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} 0.1074 & 0.0240 \\ 0.0240 & 0.0490 \end{bmatrix} > 0$$

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 0.8338 & 0.4737 \\ 0.4737 & 1.0282 \end{bmatrix} > 0$$

$$\mathbf{M}_{\sigma 1} = \begin{bmatrix} -0.6015 & -0.1468 \\ 0.0958 & -0.4798 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M}_{\sigma 2} = \begin{bmatrix} -0.4059 & -0.3106 \\ 0.1828 & -0.2935 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_{\sigma 1} = \begin{bmatrix} -18.0707 & -3.9511 \\ 5.4392 & -23.4024 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_{\sigma 2} = \begin{bmatrix} -11.1196 & -12.7663 \\ 7.2112 & -14.9467 \end{bmatrix}$$

取初值 $\varphi(t) = [0.8 \quad -0.8]^T, t \in [-3.6, 0]$.

(下转第 97 页)

具有时滞与饱和发生率的脉冲接种模型的研究

卢金梅

(郑州轻工业学院 数学与信息科学系, 河南 郑州 450002)

摘要: 研究了一类具有时滞与饱和发生率的 SIR 脉冲接种模型, 利用频闪映射得到了模型的无病周期解, 进而利用比较原理给出了无病周期解全局稳定的条件及疾病控制的最大接种周期 τ_{\max} , 当接种周期 $\tau < \tau_{\max}$ 时, 理论上疾病可以被根除. 该脉冲接种模型相比较传统的接种模型, 所需成本更低, 且更加有效.

关键词: 饱和发生率; 时滞; 脉冲接种模型; 传染病控制预防策略

中图分类号: O175.13 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.024

Study on a pulse vaccination model with delay and saturation incidence

LU Jin-mei

(Dept. of Infor. and Comp. Sci., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A delay SIR pulse vaccination model with saturation incidence was studied. The periodic infection-free solution of the epidemic model by using stroboscopic map was obtained. Further, using floquet theorem and comparison theorem it was proved that the periodic infection-free solution was globally attractive under appreciation conditions. In order to eradicate the disease by pulse vaccination, the maximum vaccination period max was shown. Theoretical results showed that pulse vaccination was more effective than conventional strategies in leading to disease eradication at relatively low values of vaccination.

Key words: saturation incidence; delay; pulse vaccination model; infectious disease control and prevention strategies

0 引言

人类的健康可能受到各种突发传染病的危害, 因此, 设计和实施更加有效的控制预防策略非常重要. 脉冲接种是一种有效的疾病控制方式, 在控制儿童传染病(如麻疹、脊髓灰质炎等)方面成效显著^[1-3]. Z. Agur 等^[4]为脉冲接种的行为机制制定了基本规则. 文献[4-5]研究表明在根除疾病方面, 脉冲接种策略比传统接种方式更加节约成本.

自然界的许多传染病都具有染病期, 即易感人群染病后疾病的发展要持续一段时间, 只有经历了这段时间才可恢复健康. 这是一种必须用时滞来模拟的滞后现象. 另外, 我们的生活环境并非齐次, 用非线性形式描述疾病的发生率更合适. 文献[6-7]讨论了3种疾病发生率的传染病模型, 通过参数的合理选择避免疾病发生率的无限增大. 所以, 采用饱和发生率的脉冲接种模型来刻画疾病的流行规律更加符合客观实际. 本文拟通过对时滞与饱和发

收稿日期: 2011-11-01

基金项目: 河南省科技计划项目(112300410156); 郑州轻工业学院青年科研基金项目(2010XJJ019)

作者简介: 卢金梅(1978—), 女, 河南省新乡县人, 郑州轻工业学院讲师, 硕士, 主要研究方向为生物数学.

生率模型的研究,从理论上建立起疾病根除的条件,从而为传染病的预防控制研究提供参考.

1 模型的建立

本文所研究的人群分为易感者、染病者和恢复者3类, $S(t), I(t), R(t)$ 分别表示其在时刻 t 所占的比例. 假设人群的数量处于平衡状态,即 $S(t) + I(t) + R(t) = 1$,并且对模型作如下假设:

(H_1) 疾病的发生率为饱和发生率 $\beta S/(1 + \alpha S)$, β 是接触率, α 是饱和发生率系数; (H_2) 出生率和死亡率相等,都为 μ ; (H_3) 考虑垂直传染的情况,由染病母亲传染给后代的比例为 q ; (H_4) 时滞 ω 表示疾病的感染期限; (H_5) 假设脉冲接种的周期为 τ 年, $p(0 < p < 1)$ 表示成功接种的比例.

基于上述假设,笔者提出时滞饱和和发生率 SIR 脉冲传染病模型如下:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{S}(t) = -\beta \frac{S(t)I(t)}{1+\alpha S(t)} + \mu(1-S(t)) - (1-q)\mu I(t) \\ \dot{I}(t) = \beta \frac{S(t)I(t)}{1+\alpha S(t)} - \beta e^{-\mu\omega} \frac{S(t-\omega)I(t-\omega)}{1+\alpha S(t-\omega)} - q\mu I(t) \\ \dot{R}(t) = \beta e^{-\mu\omega} \frac{S(t-\omega)I(t-\omega)}{1+\alpha S(t-\omega)} - \mu R(t) \end{array} \right\} t \neq k\tau \quad (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} S(t^+) = (1-p)S(t) \\ I(t^+) = I(t) \\ R(t^+) = R(t) + pS(t) \end{array} \right\} t = k\tau$$

其中,所有的系数都是正常数, k 是正整数.

由于模型①的前2个方程不含 $R(t)$,所以可以将模型①简化为

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{S}(t) = -\beta \frac{S(t)I(t)}{1+\alpha S(t)} + \mu(1-S(t)) - (1-q)\mu I(t) \\ \dot{I}(t) = \beta \frac{S(t)I(t)}{1+\alpha S(t)} - \beta e^{-\mu\omega} \frac{S(t-\omega)I(t-\omega)}{1+\alpha S(t-\omega)} - q\mu I(t) \end{array} \right\} t \neq k\tau \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} S(t^+) = (1-p)S(t) \\ I(t^+) = I(t) \end{array} \right\} t = k\tau$$

初始条件为

$$(\phi_1(\theta), \phi_2(\theta)) \in C_+ = C([- \omega, 0], R_+^2) \\ \phi_i(0) > 0, i = 1, 2 \quad (3)$$

从生物学意义出发,我们仅在系统②的不变区域 $\Omega = \{(S, I) \in R^2 \mid S \geq 0, I \geq 0, S + I \leq 1\}$ 内进行

讨论.

引理1 对于脉冲微分方程

$$\begin{cases} \dot{u}(t) = a - bu(t) & t \neq k\tau \\ u(t^+) = (1-p)u(t) & t = k\tau \end{cases} \quad (4)$$

其中, $a > 0, b > 0, 0 < p < 1$,存在唯一的正周期解

$$\tilde{u}_e(t) = \frac{a}{b} + (u^* - \frac{a}{b})e^{-b(t-k\tau)} \quad k\tau < t \leq (k+1)\tau$$

此周期解是全局渐近稳定的,这里

$$u^* = \frac{a(1-p)(1-e^{-b\tau})}{b(1-(1-p)e^{-b\tau})}$$

证明 在脉冲区间上积分求解系统②的第1个方程,得到

$$u(t) = \frac{a}{b} + (u(k\tau) - \frac{a}{b})e^{-b(t-k\tau)} \quad k\tau < t \leq (k+1)\tau$$

其中, $u(k\tau)$ 是在时刻 $k\tau$ 处的初始值. 应用系统②的第2个方程,得到频闪映射为

$$u((k+1)\tau) = (1-p) \left[\frac{a}{b} + (u(k\tau) - \frac{a}{b})e^{-b\tau} \right] = f(u(k\tau)) \quad (5)$$

其中, $f(u) = (1-p) \left[\frac{a}{b} + (u - \frac{a}{b})e^{-b\tau} \right]$. 容易看出⑤式有唯一的正平衡点

$$u^* = \frac{a(1-p)(1-e^{-b\tau})}{b(1-(1-p)e^{-b\tau})}$$

并且如果 $0 < u < u^*, u < f(u) < u^*, u > u^*, u^* < f(u) < u$,由文献[8]可以得到 u^* 是全局渐近稳定的. 这意味着系统④对应的周期解

$$\tilde{u}_e(t) = \frac{a}{b} + (u^* - \frac{a}{b})e^{-b(t-k\tau)} \quad k\tau < t \leq (k+1)\tau$$

是全局渐近稳定的.

2 无病周期解的全局稳定性

首先给出无病周期解的存在性. 在无病周期解位置,染病人群的数量为0,即对所有的 $t \geq 0, I(t) = 0$. 在此条件下,易感人群一定满足方程

$$\begin{cases} \dot{S}(t) = -\beta \frac{S(t)I(t)}{1+\alpha S(t)} + \mu(1-S(t)) - (1-q)\mu I(t) & t \neq k\tau \\ S(t^+) = (1-p)S(t) & t = k\tau \end{cases} \quad (6)$$

下面将证明易感人群数量 $S(t)$ 与脉冲接种周期 τ 同步震荡.

根据引理1可知,系统⑥的周期解

$$\tilde{S}_e(t) = 1 - \frac{p}{1-(1-p)e^{-\mu\tau}} e^{-\mu(t-k\tau)} \quad k\tau < t \leq (k+1)\tau \quad (7)$$

是全局渐近稳定的.

下面将确定系统②的无病周期解 $(\tilde{S}_e(t), 0)$ 全局渐近稳定的条件.

记 $R^* = \frac{\beta(1 - e^{-\mu\tau})}{[1 - (1 - p)e^{-\mu\tau} + \alpha(1 - e^{-\mu\tau})]q\mu}$, 则

有如下结论.

定理 1 如果 $R^* < 1$, 系统②的无病周期解 $(\tilde{S}_e(t), 0)$ 是全局渐近稳定的.

证明 由于 $R^* < 1$, 能够选择充分小的 $\varepsilon_1 > 0$, 使得

$$\frac{\beta \left[\frac{(1 - e^{-\mu\tau})}{1 - (1 - p)e^{-\mu\tau} + \varepsilon_1} \right]}{1 + \alpha \left[\frac{1 - e^{-\mu\tau}}{1 - (1 - p)e^{-\mu\tau} + \varepsilon_1} \right]} - q\mu < 0 \quad (8)$$

由系统②的第 1 个方程可得 $\dot{S}(t) < \mu - \mu S(t)$, 由此考虑下面的脉冲比较方程

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \mu - \mu x(t) & t \neq k\tau \\ x(t^+) = (1 - p)x(t) & t = k\tau \end{cases} \quad (9)$$

由引理 1 可知, 系统⑨的唯一的周期解

$$\tilde{x}_e(t) = 1 - \frac{p}{1 - (1 - p)e^{-\mu\tau}} e^{-\mu(t - k\tau)} \quad k\tau < t \leq (k + 1)\tau$$

是全局渐近稳定的.

设 $(S(t), I(t))$ 是系统②的满足初始条件③和 $S(0^+) = S_0 > 0$ 的解, $x(t)$ 是系统⑨的满足初始值 $x(0^+) = S_0$ 的解. 由脉冲微分方程的比较原理可知, 一定存在整数 $k_1 > 0$, 使得

$S(t) < \tilde{x}_e(t) + \varepsilon_1 \quad k\tau < t \leq (k + 1)\tau \quad k > k_1$ 也就是

$$S(t) < \tilde{S}_e(t) + \varepsilon_1 \leq \frac{1 - e^{-\mu\tau}}{1 - (1 - p)e^{-\mu\tau}} + \varepsilon_1 \triangleq \eta \quad k\tau < t \leq (k + 1)\tau \quad k > k_1 \quad (10)$$

进一步地, 由系统②的第 2 个方程可知, 公式⑩意味着

$$\dot{I}(t) \leq \frac{\beta\eta I(t)}{1 + \alpha\eta} - q\mu I(t) \quad t > k\tau, k > k_1$$

考虑比较系统

$$\dot{y}(t) = \left(\frac{\beta\eta}{1 + \alpha\eta} - q\mu \right) y(t) \quad t > k\tau, k > k_1 \quad (11)$$

由⑧式可知, $\frac{\beta\eta}{1 + \alpha\eta} - q\mu < 0$, 易得 $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = 0$.

设 $(S(t), I(t))$ 是系统②的满足初始条件③和 $I(0^+) = I_0 > 0$ 的解, $y(t)$ 是系统⑪的满足初始值 $y(0^+) = I_0$ 的解. 依据比较原理, 有

$$\limsup_{t \rightarrow \infty} I(t) < \limsup_{t \rightarrow \infty} y(t) = 0$$

又因为 $I(t) \geq 0$, 有 $\lim_{t \rightarrow \infty} I(t) = 0$, 因此, 对于任意充分小的 $\varepsilon_2 > 0$, 存在整数 $k_2 > k_1$ 使得对所有的 $t > k_2\tau, I(t) < \varepsilon_2$.

由系统②的第 1 个方程, 有

$$\dot{S}(t) > -\beta \frac{\varepsilon_2}{1 + \alpha} S(t) + \mu(1 - S(t)) - (1 - q)\mu\varepsilon_2$$

即

$$\dot{S}(t) > [\mu - (1 - q)\mu\varepsilon_2] - \left(\frac{\beta\varepsilon_2}{1 + \alpha} + \mu \right) S(t) \quad t > k_2\tau$$

考虑脉冲微分方程比较系统

$$\begin{cases} \dot{z}(t) > [\mu - (1 - q)\mu\varepsilon_2] - \left(\frac{\beta\varepsilon_2}{1 + \alpha} + \mu \right) z(t) & t \neq k_2\tau \\ z(t^+) = (1 - p)z(t) & t = k_2\tau \end{cases} \quad (12)$$

由引理 1 可知, 系统⑫唯一的周期解

$$\tilde{z}_e(t) = \frac{\mu - (1 - q)\mu\varepsilon_2}{\frac{\beta\varepsilon_2}{1 + \alpha} + \mu} + \left(z^* - \frac{\mu - (1 - q)\mu\varepsilon_2}{\frac{\beta\varepsilon_2}{1 + \alpha} + \mu} \right) e^{-\left(\frac{\beta\varepsilon_2}{1 + \alpha} + \mu\right)(t - k\tau)} \quad k\tau < t \leq (k + 1)\tau$$

是全局渐近稳定的, 这里

$$z^* = \frac{\mu - (1 - q)\mu\varepsilon_2}{\frac{\beta\varepsilon_2}{1 + \alpha} + \mu} \frac{(1 - p) [1 - e^{-\left(\frac{\beta\varepsilon_2}{1 + \alpha} + \mu\right)\tau}]}{1 - (1 - p)e^{-\left(\frac{\beta\varepsilon_2}{1 + \alpha} + \mu\right)\tau}} \quad k\tau < t \leq (k + 1)\tau$$

设 $(S(t), I(t))$ 是系统②的满足初始条件③和 $S(0^+) = S_0 > 0$ 的解, $z(t)$ 是系统⑫的满足初始值 $z(0^+) = S_0$ 的解. 利用脉冲微分方程的比较原理, 存在整数 $k_3 > k_2$, 使得

$$S(t) > \tilde{z}_e(t) - \varepsilon_2 \quad k\tau < t \leq (k + 1)\tau \quad k > k_3 \quad (13)$$

由于 ε_1 和 ε_2 充分小, 由⑩和⑬可知

$$\tilde{S}_e(t) = 1 - \frac{p}{1 - (1 - p)e^{-\mu\tau}} e^{-\mu(t - k\tau)} \quad k\tau < t \leq (k + 1)\tau$$

是全局渐近稳定的. 因此, 系统②的无病周期解 $(\tilde{S}_e(t), 0)$ 是全局吸引的.

通过简单的运算可知, $R^* < 1$ 等价于

$$\tau < -\frac{1}{\mu} \ln \frac{\beta - q\mu(1 + \alpha)}{\beta - q\mu(1 + \alpha - p)}$$

记 $\tau_{\max} = -\frac{1}{\mu} \ln \frac{\beta - q\mu(1 + \alpha)}{\beta - q\mu(1 + \alpha - p)}$, 则有如下结论:

定理 2 若 $\beta/[q\mu(1 + \alpha)] > 1$, 则当 $\tau < \tau_{\max}$ 时, 系统②的无病周期解 $(\tilde{S}_e(t), 0)$ 是全局渐近稳定的.

定的.

3 结论

本文分析了带有时滞与饱和发生率的 SIR 脉冲接种模型,给出了无病周期解全局稳定的条件,即当疾病传播的基本再生数 $R^* < 1$ 时,疾病可以根除. 可以通过多种途径来降低 R^* , 比如可以增加成功接种的比例 p , 降低垂直传染的比例 q , 增加疾病接种的周期 τ 等. 本文还给出了疾病控制的最大接种周期 τ_{\max} , 即当接种周期 $\tau < \tau_{\max}$ 时, 疾病就可以根除. 该脉冲接种模型相比较传统的接种模型, 所需成本更低, 且更加有效.

但是, 本文考虑的模型是脉冲接种模型, 且具有时滞与饱和发生率. 事实上, 模型本身还有很多值得改进的地方, 如考虑其他形式的非线性疾病发生率、考虑多个时滞存在的情况、考虑状态依赖模型等, 更多因素的考虑有可能使模型更接近客观实际, 提供的理论结果也更有实际意义, 这将是今后研究的方向.

参考文献:

[1] d'Onofrio A. Stability properties of pulse vaccination strat-

(上接第 93 页)

4 结语

本文研究了一类时滞中立模糊切换系统的保性能控制问题, 用矩阵不等式的形式给出了系统稳定的充分条件和切换律的设计方案, 找到了系统的性能上界, 所得结果以线性不等式形式给出, 便于 Matlab 求解.

参考文献:

[1] Mathmoud M S. Control of uncertain state-delay systems: guaranteed cost approach[J]. IMA J of Math Control and Infor, 2001, 18(1):109.
[2] Xu S Y, Lam J, Yang C W. H_∞ and positive-real control for linear neutral delay systems[J]. IEEE Trans on Auto

egy in SEIR epidemic model[J]. Math Biosci, 2002, 179(1):57.

- [2] Shulgin B, Stone L, Agur Z. Pulse vaccination strategy in the SIR epidemic model [J]. Bull Math Biol, 1998, 60:1123.
[3] Stone L, Shulgin B, Agur Z. Theoretical examination of the pulse vaccination policy in the SIR epidemic model[J]. Math Comp Modelling, 2000, 31:207.
[4] Agur Z, Cojocaru L, Mazor G, et al. Pulse mass measles vaccination across age cohorts [J]. Proc Nat Acad Sci USA, 1993, 90:11698.
[5] Hui J, Chen L. Impulsive vaccination of SIR epidemic models with nonlinear incidence rates[J]. Discrete and Continuous Dynamical System (Series B), 2004(4):595.
[6] Liu W M, Hethcote H W, Levin S A. Dynamical behavior of epidemiological models with nonlinear incidence rates [J]. J Math Biol, 1987, 25(4):359.
[7] Liu W M, Levin S A, Iwasa Y. Influence of nonlinear incidence rates upon the behavior of SIRS epidemiological models[J]. J Math Biol, 1986, 23(2):187.
[8] Cull P. Global stability for population models [J]. Bull Math Bio, 1981, 43(1):47.

Control, 2001, 46(8):1321.

- [3] Han Qing-long. On robust stability of neutral systems with time-varying discrete delay and norm-bounded uncertainty [J]. Automatica, 2004, 40:1087.
[4] 孙希明, 付俊, 孙洪飞, 等. 一类切换线性中立时滞系统稳定性的分析[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(23):42.
[5] 毛北行, 喻军, 卜春霞. 一类时滞中立型切换系统的反馈镇定[J]. 郑州大学学报:理学版, 2011, 43(1):1.
[6] 王彤, 朱伟. 中立型模糊时滞系统的非易碎保成本控制[J]. 南京师范大学学报:工程技术版, 2010, 10(1):5.
[7] 俞立. 鲁棒控制——线性矩阵不等式处理方法[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.

基于贝叶斯网络的电力工程项目延迟风险研究

李蒙, 张云波

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要:将电力工程项目发生延迟的各个风险因素通过 BN 模型进行了量化,结果显示,天气状况恶劣、项目时间计划过紧、技术工种能力低、缺乏先进设备仪器和供应商不能按时供货这 5 种风险因素会直接对项目的延迟产生影响;供应商不能按时供货、技术工种能力低、项目计划安排不当 3 种风险因素对项目的延迟十分敏感. 项目经理应该重点控制这些敏感因素.

关键词:贝叶斯网络;延迟风险;电力工程项目

中图分类号:T9 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.025

Research on schedule risk in power construction project using Bayesian network

LI Meng, ZHANG Yun-bo

(School of Civil Eng., Huaqiao Univ., Xiamen 361021, China)

Abstract: Schedule risk factors of power projects are quantified by Bayesian networks (BN) model. Results showed that five kinds of risk factors such as poor weather conditions, tight project schedule, low-skilled jobs, lack of equipment and not timely supplier will directly impact on project schedule. Factors including not timely supplier, low technical work ability, improper plan arrangement are sensitive to project schedule, which should be the focus of control.

Key words: Bayesian network; schedule risk; power construction project

0 引言

风险管理是项目施工与管理研究中的一个重要领域^[1]. R. Miller^[2]曾指出,在项目实施的初期,风险的识别和管理对项目最终是否成功起着决定性作用.对于电力工程项目来说,风险管理尤为重要.众所周知,项目成功实施与科学的进度安排密不可分.然而,项目进度具有较大的不确定性,经常发生延迟,各个项目利益相关者可能因此遭受损失^[3].因此,确定项目延迟发生的概率就显得很重

要.目前,无论在定量还是定性方面,风险度量的方法都有很多,大多是在传统概率方法的基础上,如风险测量、敏感性分析、概率分析、模糊逻辑技术、影响图以及 AHP 等^[4-6],然而,这些方法都没有清晰全面地表达项目工程项目风险间的相互作用关系.

电力工程项目工期长、参与者众多,使得整个项目周期中存在大量风险,且风险之间呈现多种类、高关联的特征.忽略风险之间相互作用的关系就不可能准确地度量风险发生的概率,也会造成研

收稿日期:2011-11-03

基金项目:华侨大学高层次人才引进人才基金项目(11BS415);国务院侨办基金项目(11QZR06)

作者简介:李蒙(1984—),男,湖北省武汉市人,华侨大学讲师,博士,主要研究方向为土木工程施工与管理.

究结果失真. 目前,国内外关于风险之间依赖关系的研究还不是很深入,且主要集中在基于概率的计算方法上,贝叶斯网络 BN (Bayesian network) 却少见于风险依赖的文献之中. 董立岩^[7]指出应用 BN 来建模风险的优势在于:BN 模型具有非对称性,数据可以在任意 1 个节点输入,其余节点可以自动被重新计算. 一旦 BN 被建立,模型的逻辑结构从各个方面都不会受到限制. 因此,本文拟基于 BN 模型来研究电力工程项目的延迟风险,计算风险发生的概率,进而提出相应的管理策略.

1 BN 模型

1.1 BN 的表示

BN 是表示变量间概率依赖关系的有向无环图,可以表示为 $G = \langle N, A, \theta \rangle$, 这里的 G 代表有向无环图, N 表示图中的各个节点. 本文定义每个节点都为—个领域变量, A 表示变量之间的概率依赖关系,每个节点都对应—个条件概率分布表,这些条件概率分布表明该变量与母节点之间的概率依赖关系, θ 则表示条件概率分布表的参数.

BN 的一个关键特征是它提供了一种把联合概率分布分解为局部分布的方法,换句话说,BN 的图形结构编码了变量之间的概率依赖关系,具有清晰的语义特征,这种独立的语义说明了如何组合这些局部分布以便计算变量之间的联合分布.

在 BN 的定量部分给出了变量之间不确定的数值度量. 本文用 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ 表示节点或者领域变量,用 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 表示变量的取值,则 BN 的联合概率分布可以表示为

$$P(x) = \prod_i P(x_i | \text{parent}(x_i)) \quad (1)$$

1.2 独立关系

BN 是联合概率分布的简化表示形式,可以计算变量空间的任意概率值. 当变量数目很大时,运用联合概率分布进行计算通常是不可行的,概率数目是变量数目的指数幂,计算量极大. BN 利用独立因果影响关系解决了这个难题. BN 中 3 种独立关系分别是条件独立、上下文独立及因果影响独立. 3 种独立关系旨在把联合概率分布分解成更小的因式,从而达到节省存储空间、简化知识获取和领域建模过程、降低推理过程中计算复杂性的目的,因此可以说独立关系是 BN 的灵魂.

1.3 BN 推理

BN 推理旨在通过联合概率分布公式,在给定的网络结构和已知证据下,计算某一事件发生的概率. 理论上,在给定的网络结构和概率分布表的情况下,任何查询都可以通过反复应用贝叶斯公式和乘积与求和公式而实现. 常见的推理方法可以分为精确推理和近似推理,这些推理算法包括图约简算法、Polytree 算法、Junction 树算法及随机模拟算法.

2 延迟风险研究框架

笔者首先对从事电力工程项目的专家就施工过程中存在的延迟风险问题进行问卷调查,得出 12 个影响电力工程进度的主要风险因素. 在此基础上,应用 BN 模型构建风险因素之间的因果关系图,并对风险因素进行定量分析. 最后,利用 BN 模型的评价结果,得出相应的结论和建议. 基于 BN 的电力工程项目延迟风险的研究框架见图 1.

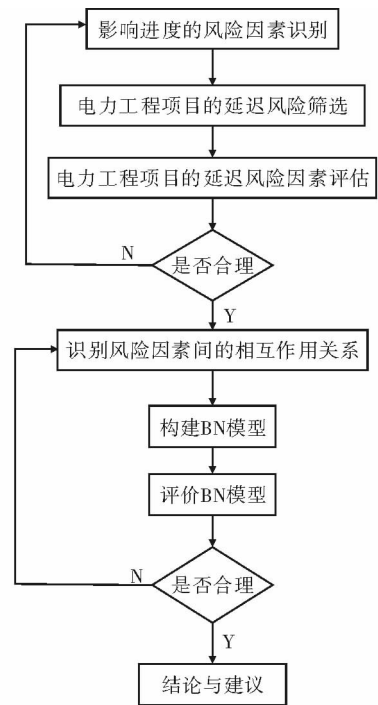


图1 基于BN的电力工程项目延迟风险的研究框架图

3 电力工程项目延迟风险的识别

本文采用比较方便的非概率抽样. 非概率抽样,又称为不等概率抽样或非随机抽样,就是调查者根据自己的习惯或主观判断抽取样本的方法. 笔

者采用该方法对参与问卷的被调查者的特征进行分类,结果见表 1.

表 1 问卷调查者的特征分析表 %

项目	教育背景				工作年限/a				项目类型			
	大专	学士	硕士	博士	≤5	5-10	10-15	≥15	核电	火电	水电	电网
比例	23.5	67.9	7.4	1.2	2.5	17.3	43.0	37.2	22.2	54.8	14.0	9.0

通过国际学术会议、电子邮件、现场问卷调查、专案访谈 4 种渠道发放问卷 100 份,收回问卷 88 份,其中 10 份为无效问卷. 通过 4 种渠道发放问卷的比例分别为 60%, 7%, 17% 和 16%. 由于发放问卷的方式属于非概率抽样,必然会产生一定的误差. 非概率抽样的样本值的确定通常为 50 ~ 200, 本文确定的样本数量为 100. 误差计算采用信度检验的方法. 信度检验主要是检验多个项目之间的内部一致性,较为常用的信度系数是 a ,其计算公式为

$$a = \frac{K}{K+1} \left[1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^K \delta_i^2}{\sigma_T^2} \right) \right]$$

其中, K 表示样本数量总数, δ_i^2 表示第 i 个问题项得分的内部方差, σ_T^2 表示所有问题总得分的方差.

另外, 本文认为, 产生无效问卷的主要原因有 2 个: 一是有些被调查者的态度过于草率, 如许多问题集中于某一两个数字; 二是问卷中有较多的问题没有填写, 被遗漏了. 这样, 收回的有效样本数为 78 份, 该调查问卷的有效答复率为 78%, 根据 S. Q. Wang^[8] 的论点, 这个答复率是有效的.

为了识别主要延迟风险因素, 本文参考了均值和信度系数. 均值表示风险事件的重要程度, 信度系数则表示测量的可靠性和稳定性. 当均值和信度系数分别大于 3.5 和 0.8 时, 风险因素被视为主要因素, 表 2 是按照均值排序的风险因素.

4 基于 BN 的建模与度量

4.1 延迟风险因素之间相互作用关系

本阶段的目的是对应出表 2 所列出主要风险因素之间的相互作用关系, 通常又可以理解为风险因素之间的因果关系. 在表 2 所示 12 种主要风险的基础上, 笔者利用 BN 的推理建立了有向无环图, 得出了 14 对因果关系^[9-10]. 其中, 表 2 中所识别的 12 种主要风险依次对应为 A_1, A_2, \dots, A_{12} , 而 A 表示的是电力工程项目的延迟风险. 调查表为风险因素之间

表 2 主要延迟风险因素

排序	延迟风险	均值	a
1	电力承包商偿还困难	4.25	0.85
2	项目时间计划过紧	4.12	0.87
3	政府审批程序过繁	4.01	0.81
4	项目甲方资金问题	3.97	0.83
5	项目计划安排不当	3.94	0.86
6	项目经理能力有限	3.88	0.81
7	天气状况恶劣	3.80	0.84
8	标的价格过低	3.73	0.82
9	技术工种能力低	3.70	0.84
10	供应商不能按时供货	3.67	0.81
11	物价波动	3.54	0.86
12	缺乏先进设备仪器	3.52	0.83

的相互作用关系图, 它是对 88 名电力工程专家的调查汇总后的结果. 调查表是一个矩阵表格, 表格的左方(因)和上方(果)分别对应着 12 种主要风险. 我们要求专家对表中的因果关系进行打分. 其中 4 分表示“具有很强的因果关系”, 3 分表示“具有因果关系”, 2 分表示“具有一定的因果关系”, 1 分表示“有微弱因果关系”, 0 分表示“没有因果关系”. 该问卷是通过电话及电子邮件的方式发放的, 88 份问卷都得到了回复, 回复率为 100%. 本文取均值超过 3.0 作为依赖关系的选择依据, 得出的风险因素之间的作用关系见图 2.

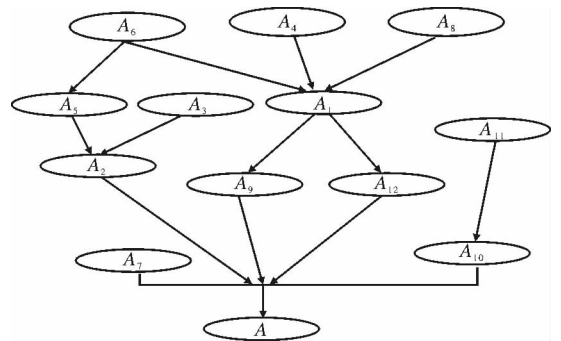


图 2 风险因素之间作用关系

4.2 模型的构建

基于识别出的 12 种主要风险以及 14 对因果关系, 可以构建出 BN. 假定每个风险因素只有 2 种状态, 即发生和不发生. 根据已知的各个风险因素的连带关系, 由公式①可以得出各个主要风险发生的条件概率(见表 3), 而最终求得的延迟风险 A 发生的概率为 0.65.

4.3 结果分析

从表3中可以清楚地看出项目各个利益相关者的责任.例如,项目供货商应认识到按时提供项目所需材料对减少延迟起着决定作用,且发生的概率约为71%,因为“电力承包商偿还困难”发生的概率约为73%,项目承包商就应重点准备好偿还资金避免延迟的发生;项目的拥有者也应该重点关注自身的资金问题;项目的设计方最应该注意“项目时间计划过紧”,应在初步设计方案中仔细规划项目的进度安排以使项目能够顺利完工^[11].

表3 风险因素的条件概率

延迟风险	发生	不发生
电力承包商偿还困难	0.73	0.27
项目时间计划过紧	0.86	0.14
政府审批程序过繁	0.77	0.23
项目甲方资金问题	0.78	0.22
项目计划安排不当	0.79	0.21
项目经理能力有限	0.68	0.32
天气状况恶劣	0.55	0.45
标的价格过低	0.67	0.33
技术工种能力低	0.73	0.27
供应商不能按时供货	0.71	0.29
物价波动	0.73	0.27
缺乏先进设备仪器	0.63	0.37

另外,根据BN进行敏感性分析可以帮助项目经理有效地决策,防止延迟风险的发生.例如,根据贝叶斯独立关系及随机模拟算法可以得出,当“供应商不能按时供货”不发生时,项目发生延迟的概率约为62%;而当“天气状况恶劣”不出现时,项目发生延迟的概率可以降为61%.由此可知,有些风险因素对项目的延迟不敏感,而有些因素,如“供应商不能按时供货”、“技术工种能力低”以及“项目计划安排不当”对项目的延迟十分敏感.项目经理可以重点控制这些敏感因素以防止延迟风险的发生.

5 结论

本文将电力工程项目发生延迟的各个风险因素通过BN模型进行了量化,得到了导致电力工程项目延迟的12个主要风险因素,并在此基础上得到了14对主要风险因素的相互作用关系图.结果显示,天气状况恶劣、项目时间计划过紧、技术工种能力低、缺乏先进设备仪器和供应商不能按时供货这

5种风险因素会直接对项目的延迟产生影响,为直接作用因素,其他7种风险因素对项目延迟产生间接影响.

本文基于给出的12个主要风险因素和14对因果关系,应用BN模型度量出风险因素发生的概率.通过对模型结果进行敏感性分析,发现供应商不能按时供货、技术工种能力低、项目计划安排不当3种风险因素对项目的延迟十分敏感.项目经理应该重点控制这些敏感因素.

本文针对电力工程项目的延迟风险进行了研究,但还存在不足.如每个风险因素只被分成发生和不发生2种状态,但现实情况往往不是那么简单.因此,针对实际的电力工程项目,应用BN模型时需进行适当的调整,这是今后的工作重点.

参考文献:

- [1] Raz T, Michael E. Use and benefits of tools for project risk management[J]. Int J of Project Mana, 2001, 19(1):9.
- [2] Miller R, Lessard D. Understanding and managing risks in large engineering projects[J]. Int J of Project Mana, 2001, 19(8):437.
- [3] Zou P X W, Zhang G M, Wang J Y. Identifying key risks in construction projects: Life cycle and stakeholder perspectives[C]//Proc 12th Pacific Rim Real Estate Society Conf, Auckland:IEEE, 2007.
- [4] 徐莉. 技术经济学[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2003.
- [5] 刘晓君, 刘洪玉. 工程经济学[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2008.
- [6] 蒋晓静, 黄金枝. 工程项目的风险管理与风险监控研究[J]. 建筑技术, 2005(7):537.
- [7] 董立岩. BN应用基础研究[D]. 吉林:吉林大学, 2007.
- [8] Wang S Q, Tiong R L K, Ting S K, et al. Evaluation and management of foreign exchange and revenue risks in China's BOT projects[J]. Constr Manage Econom, 2000, 18(2):56.
- [9] 樊宁. 贝叶斯网络推理算法研究[J]. 信息技术, 2011(2):35.
- [10] 冷翠平, 王双成, 王辉. 动态贝叶斯网络结构学习的依赖分析方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2011(3):145.
- [11] 赵红, 李雅菊, 宋涛. 基于BN工程项目风险管理[J]. 沈阳工业大学学报:社会科学版, 2008, 7(3):240.

熵值法在价值投资决策中的应用

曲双红¹, 李华²

(1. 郑州轻工业学院 数学与信息科学系, 河南 郑州 450002;
2. 郑州大学 数学系, 河南 郑州 450001)

摘要:按照 Buffet 提出的 5 个准则, 对我国上海证券交易所的 20 只股票 2007—2009 年的数据进行加权移动平均, 然后利用熵值法, 对其业绩表现进行了排序, 并在长达 19 个月的投资期限里进行跟踪。实证研究表明, 按熵值法排序在前 5 名的投资组合比排在前 10 名的投资组合有更高的收益率, 说明了这种投资决策方法的有效性, 并且比区间数 PROMETHEE 方法更简单、更高效。

关键词:价值投资; 加权移动平均; 熵值法; 多目标决策方法; 收益率

中图分类号: O29 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.026

Application of entropy method for decision making of value investment

QU Shuang-hong¹, LI Hua²

(1. Dept. of Math. and Infor. Sci., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China;
2. Dept. of Math., Zhengzhou Univ., Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The weighted moving average-entropy method to evaluate decision making process of value investment was introduced. Five performance criteria according to Buffet proposed were used for measuring the growth potential of firms and were represented by weighted moving average numbers based on the real financial data from 2007 to 2009. This method was applied to rank the 20 selected stocks in Shanghai Stocks Exchange. The portfolio with the top 5 stocks was proven to have higher return rate than that the 10 selected stocks within the 19-month investment period. The empirical study showed the effectiveness of the weighted moving average-entropy method in the decision making process of value investment and it was more simple and efficient than PROMETHEE method.

Key words: value investment; weighted moving average; entropy method; multi-object decision making; return rate

0 引言

多目标决策问题 (multi-object criteria decision making) 的主要目的是帮助决策者在 $n (> 0)$ 个具备

$m (> 0)$ 个属性的方案中, 通过计算各个方案的效用值, 再根据效用值越大越好的原则选出最佳方案。

作为一个多目标决策问题, 价值投资最早由 Graham 提出, 后来经 Buffet 完善和发展, 特别是近

收稿日期: 2012-04-23

基金项目: 河南省基础与前沿技术研究计划项目 (112300410064); 河南省中小企业孵化上市量化策略研究横向项目 (112300410156); 河南省教育厅自然科学基金项目 (2011A110022)

作者简介: 曲双红 (1973—), 女, 河南省偃师县人, 郑州轻工业学院讲师, 主要研究方向为应用数学。

几十年来,随着其理论的成功应用,越来越受到人们的重视. 如何利用历史数据作出一个好的、合理的投资决策,一直是人们所关注的. 文献[1-2]用 PROMETHEE 等方法来解决金融投资中的不同问题;文献[3]用区间数 PROMETHEE 方法,基于 Buffet 提出的 5 个准则,对 20 只股票进行排序,寻求最优的投资组合,收到了不错的效果,但计算过程过于复杂,不便应用.

本文将尝试基于 2007—2009 财务年度的真实数据,先进行加权移动平均,再利用简单的熵值法对 20 只股票进行排序,以期寻找最优的投资组合.

1 熵值法

假定 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 是待排序的一系列方案, $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ 是指标集(准则、属性). 熵原本是热力学的概念,其定义为 $E = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$, 其中 p_i 为每种状态出现的概率. 若某个变量的信息熵越小,就表明该变量的变异程度越大,在评价中的作用越大,权重也越大;反之,信息熵越大,其指标权重越小.

熵值法^[4]计算步骤如下:

1) 计算第 j 项指标下第 i 个方案的比重

$$p_{ij} = F_{ij} / \sum_{i=1}^n F_{ij}$$

2) 计算第 j 项指标的熵值

$$e_j = - \frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$$

3) 计算第 j 项指标的权重

$$a_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j)$$

4) 计算第 i 个方案的综合值

$$v_i = \sum_{j=1}^m a_j p_{ij}$$

最后按该方案综合值对各方案进行排序即可.

2 实证研究

价值投资的内在哲学是其潜在的价值决定了股票的价格,价格围绕价值上下波动. 出色的业绩表现意味着一只股票有更大的增值空间和更多的回报,值得投资者长期持有. 按照 Buffet 的理论,可以用 5 个准则(均是越大越好)来衡量一只股票的增长潜力,即资产回报率(f_1)、销售额增长率(f_2)、

股本利润增长率(f_3)、每股利润增长率(f_4)、净现金流增长率(f_5).

根据公司的财务报表可以计算出每只股票的业绩表现,本文所用到的数据通过 CSMAR4.0 获得. 投资决策是个复杂的过程,其中有很多不确定的因素,如果只是简单地用 1 年的数据显然是不合适的. 为此,本文选取了 2007—2009 这 3 个财务年度的数据,然后根据越靠近现在的数据权重越大,越早的数据权重越小的原则,对这 3 年的数据作移动加权平均,即解方程 $w^3 + w^2 + w = 1$, 易得 $w = 0.5437$, 这是 2009 年数据的权重,2008 年和 2007 年度的数据权重分别为 0.2956 和 0.1607. 于是,按照上述权重可以得到 20 只股票的加权移动平均数据. 然后,按照熵值法对这 20 只股票的业绩表现进行计算、排序,结果见表 1.

表 1 熵值法计算结果

排名	股票代码	综合值
1	600375	151.663 6
2	600233	144.519 4
3	600712	125.0200
4	600600	102.037 2
5	600252	99.943 95
6	600519	87.777 53
7	600859	86.400 89
8	600750	82.775 79
9	600066	79.822 54
10	600031	79.595 98
11	600708	77.756 56
12	600101	76.288 39
13	600829	76.226 14
14	600664	73.645 49
15	600611	71.325 19
16	600269	69.768 13
17	600195	65.375 18
18	600835	56.619 83
19	600528	56.305 68
20	600697	45.976 17

综合值越大,排名越靠前,该股票的业绩表现越好,这意味着它有更大的增值潜力. 但由于金融市场是非常复杂的,如果说排在第 i 位的股票一定比排在第 $i+1$ 位的增值快,这未免太绝对. 但可以肯定的是,如果将排在前 s 位的股票构建成一个投资组合的话,它必然要比排在前 $t(t > s)$ 位的股票构建的投资组合有更大的增值潜力.

为了验证所采用方法的可行性,本文构建了3个投资组合:前5名构成的投资组合(top5),前10名构成的投资组合(top10)以及笔者所选的20只股票构成的投资组合(rand20).假定在2009年12月31日之后,也即2010年元月4日,按当时的价格,每只股票购买1000股,一直持有到2011年10月31日,期间所持投资组合没有任何变化.为使3个投资组合的投资效果具有可比性,以2010年元月4日的上证指数为基准,对这3个投资组合作了调整.假定当时上证指数值为3000,投资组合价格为30000,将投资组合除以10之后也调整为3000,对整个投资期限每天的价格都除以10,这样,它们便具有了可比性.然后,按照调整后的价格,将这3个投资组合在整个投资期限里的变化情况描绘在同一张图上(见图1),SZ代表上证指数.

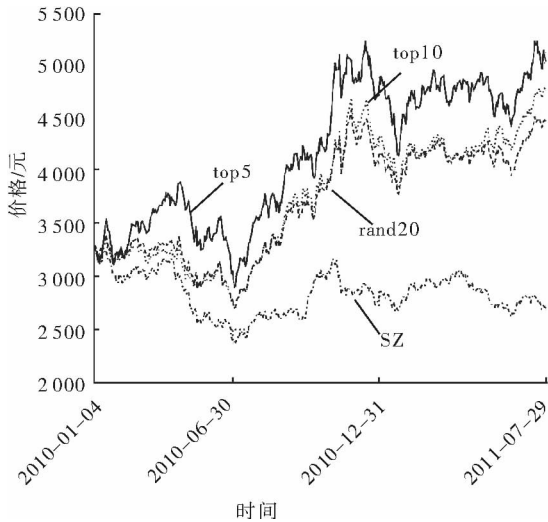


图1 投资组合市值变化情况

从图1可以看出,在长达19个月的投资期限里,投资组合top5一直位于投组top10的上方,投资组合top10也高于投资组合rand20.这表明熵值法是有用的.同时,SZ代表了我国证券市场的平均水平,前2个投资组合远高于SZ.

为做比较,将熵值法选出的投资组合top5和文献^[3]中按照区间数PROMETHEE方法选出的前5名股票构成的投资组合(intop5),以及rand20和SZ共同画在图2中.由图2可知,在大约17个月投资期限里,top5几乎一直位于intop5上方,这说明移动平均熵值法简单有效.在最后大约2个月里,top5略低于intop5,这反映了历史数据滞后时效的有限性.

进一步分别计算了从2010年01月04日到

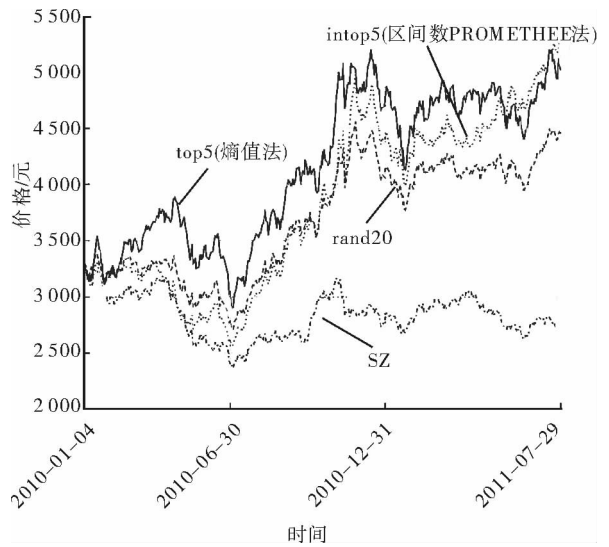


图2 熵值法与区间数PROMETHEE方法的比较

2010年06月30日,2010年12月31日和2011年07月29日3个投资期限上移动平均熵值法选出的各个投资组合的年化收益率,投资期限分别为6个月,12个月和19个月.相应均值和标准差见表2.

表2 3个投资期限各投资组合年化收益率分布

投资组合	2010-06-30		2010-12-31		2011-07-29	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
top5	-0.108 249 7	0.283 510 10	0.449 299 61	0.296 678 9	0.331 360 15	0.283 729 55
top10	-0.329 536 5	0.212 935 49	0.324 460 56	0.242 047 01	0.276 189 54	0.224 970 81
rand20	-0.320 204 9	0.225 083 45	0.283 605 44	0.240 921 73	0.232 818 38	0.222 480 71
SZ	-0.603 505 2	0.227 442 85	-0.125 625	0.224 150 61	-0.099 774 7	0.205 343 36

从表2可以看出,截至2010年06月30日,所有投资组合的平均收益率都是负数,但是投资组合top5的亏损要比其他投资组合的亏损少得多,而投资组合top10的亏损略高于rand20,这也正说明了市场具有不确定性.若投资期限为1a,也就是到了2010年12月31日,投资组合top5的收益率(44.93%)远高于投资组合top10(32.45%),rand20(28.36%)以及SZ(28.36%).若投资期限为19个月,投资组合top5的收益率33.14%仍高于其他投资组合.同样,投资组合top10在后2个投资期限上的收益率也都高于rand20和SZ.

另一方面,投资组合收益率的风险可以用其标准差来衡量,标准差越小,风险越小.从3个投资期限来看,投资组合top5的风险仅略高于其他投资组合,但相比高收益来说,这个微小的代价是值得的.而投资组合top10的风险与rand20,SZ几乎相同.

(下转第108页)

基于 Fuzzy 统计的精品课程评价

李昕¹, 陈东升¹, 杨杰²

(1. 郑州轻工业学院 数学与信息科学系, 河南 郑州 450002;

2. 郑州轻工业学院 网络中心, 河南 郑州 450002)

摘要:根据国家精品课程评审指标体系,构建了精品课程评价模型.该模型利用 Fuzzy 统计方法确定各评价指标的权重,再根据模糊算子计算被评课程各项指标的得分及总分,将精品课程的定性评价转化为定量评价.该方法克服了以往精品课程评审过程单一化、主观化的缺点,使评审客观、公正、合理,易于操作.

关键词:精品课程评价;Fuzzy 统计;权重;指标体系

中图分类号:O159;G423.04 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.1004-1478.2012.04.027

Excellent course evaluation based on Fuzzy statistic

LI Xin¹, CHEN Dong-sheng¹, YANG Jie²

(1. Dept. of Math. and Infor. Sci., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China;

2. Network Center, Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: According to the index system of national excellent course evaluation, a mathematical model to evaluate different excellent courses was constructed. In the course of the evaluation process, weight-number of all valuation indices was determined using Fuzzy statistical methods, the score of each index was worked out by fuzzy operator and total score was calculated, which will turn fixed-quality assessment to fixed-quantity. This method not only overcomes the weakness of simplification and subjectivity during the process of the formerly evaluation but makes evaluation objective, just and reasonable, and more easy to be operated.

Key words: excellent course evaluation; Fuzzy statistic; weight number; index system

0 引言

2003年,教育部发布《教育部关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》,这是精品课程建设的重要举措。《通知》明确提出了精品课程建设的标准和目标,即“一流的教师队伍,一流的教学内容,一流的教学方法,一流的

教材,一流的教学管理”,这是精品课程建设的基本宗旨和丰富内涵^[1-2]。为了达到上述标准和目标,各高校(或地方)相继出台了精品课程评价指标体系。为了提高精品课程评价结果的可靠性与可比性,教育部2006年颁布了“国家精品课程评估指标”体系,并于2007年对评估指标进行了修订,更名为“国家精品课程评审指标”,定量评价与定性评价相

收稿日期:2012-03-07

基金项目:河南省“十一五”规划课题([2010]—JKGHAZ—0091)

作者简介:李昕(1981—),女,河南省郑州市人,郑州轻工业学院助教,硕士,主要研究方向为不确定信息处理和模糊教学。

结合的方法使精品课程的评价更加规范化和科学化. 由于评价精品课程一些指标的“边界”不清楚, 存在着不“精确”的模糊性, 使用传统的硬划分的方式直接给出各评价指标所属等级显然是不合适的. 目前常用的是加权平均或综合评价的方法, 但是其评价过程过多地依赖经验和印象, 使评价带有一定的主观性和随意性. 因此, 为了增强评价结果的客观性, 本文提出定性定量相结合的评价方法, 即利用模糊数学方法^[3-5]对课程进行定量评价, 然后再定性评价课程的等级, 以期更准确客观地遴选精品课程.

1 国家精品课程评审指标

国家精品课程评审方案分为综合评审与特色及政策支持 2 部分, 本文仅讨论综合评审部分, 这部分有 5 个一级指标, 15 个二级指标, 评价指标体系结构如图 1 所示.

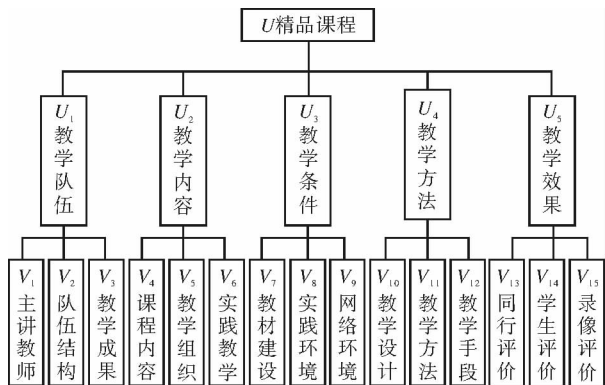


图 1 精品课程评审指标结构图

每个二级指标都有具体的观测点和评审标准, 以教学队伍因素为例, 在主讲教师方面, 主要观测教师的教学水平、学术水平与教师风范; 在队伍结构方面, 主要观测人员配置、知识结构和年龄结构等; 在教学成果方面, 主要观测教研活动、教学改革与成果等^[5]. 根据观测结果, 二级指标层中每个指标分别设置 4 个评定级别, 即 $V_q^A = 优, V_q^B = 良, V_q^C = 中, V_q^D = 差 (q = 1, 2, \dots, 15)$.

2 评价模型及其应用

2.1 确定评价因素集

设被评价的课程集合为 $W = \{w_k | k = 1, 2, \dots, M\}$, 其中 w_k 表示第 k 个被评价的课程. 各级评价指标作为因素构成一级因素集 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4,$

$U_5\}$ 和二级因素集 $U_1 = \{V_1, V_2, V_3\}, U_2 = \{V_4, V_5, V_6\}, U_3 = \{V_7, V_8, V_9\}, U_4 = \{V_{10}, V_{11}, V_{12}\}, U_5 = \{V_{13}, V_{14}, V_{15}\}$.

2.2 计算权重向量

设一级因素集 U 中各因素的权重分配向量 $Q = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$, 二级因素集 U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 中各因素的权重分配向量为 $Q_1 = (v_1, v_2, v_3), Q_2 = (v_4, v_5, v_6), Q_3 = (v_7, v_8, v_9), Q_4 = (v_{10}, v_{11}, v_{12}), Q_5 = (v_{13}, v_{14}, v_{15})$, 其中各项权重可按如下步骤来确定.

1) 设有 m 个评委. 每个评委对一级因素和二级因素分别给出一个 $[0, 1]$ 的权重区间, 同时对二级因素给出相应的评定级别. 如某评委认为 U 中 U_1 的权重区间应该是 $[0.12, 0.23]$, U_1 中 V_1 的权重区间应该是 $[0.3, 0.4]$, 则其评定级别是 V_1^D .

2) 对于每个一级指标(因素) $U_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ 来说, 每个评委都要填写权重区间, 即每个一级指标(因素)都会对应 m 个区间 $[a_{it}, b_{it}] (i = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, 3, 4, 5)$, 将每个指标的这 m 个区间的左端点 a_{it} 和右端点 b_{it} 放在一起进行排序: $A_{1t} < A_{2t} < \dots < A_{mt}$, 于是得到一些区间 $(A_{nt}, A_{(n+1)t})$, 其中 $A_{nt} (n = 1, 2, \dots, m - 1)$ 是 a_{it} 和 b_{it} 经排序后得到的, 这些区间称为隶属频率区间.

同理, 每个二级指标(因素) $V_q (q = 1, 2, \dots, 15)$ 也会对应 m 个区间 $[a_{iq}, b_{iq}] (i = 1, 2, \dots, m; q = 1, 2, \dots, 15)$, 采用上述方法可得到 V_q 的隶属频率区间 $(A_{nq}, A_{(n+1)q})$.

3) 求出每个一级指标(因素) U_i 的隶属频率区间的中间值 $A_{it}^* = \frac{A_{nt} + A_{(n+1)t}}{2}$ 及其频数 N_{it} (即 A_{it}^* 被所有区间 $[a_{it}, b_{it}]$ 覆盖的次数), 再求出每个二级指标(因素) V_q 的隶属频率区间的中间值 $A_{nq}^* = \frac{A_{nq} + A_{(n+1)q}}{2}$ 及其频数 N_{nq} (即 A_{nq}^* 被所有区间 $[a_{iq}, b_{iq}]$ 覆盖的次数).

4) 代入下面公式计算一级指标(因素) U_i 的权重 u_i^* 和二级指标(因素) V_q 的权重 v_q^* :

$$u_i^* = \frac{\sum_{n=1}^{m-1} N_{nt} (A_{(n+1)t} - A_{nt}) A_{nt}^*}{\sum_{n=1}^{m-1} N_{nt} (A_{(n+1)t} - A_{nt})} \quad t = 1, 2, 3, 4, 5$$

$$v_q^* = \frac{\sum_{n=1}^{m-1} N_{nq} (A_{(n+1)q} - A_{nq}) A_{nq}^*}{\sum_{n=1}^{m-1} N_{nq} (A_{(n+1)q} - A_{nq})} \quad q = 1, 2, \dots, 15$$

$$B_{k4} = Q_4 \begin{pmatrix} C_{k10} \\ C_{k11} \\ C_{k12} \end{pmatrix} \quad B_{k5} = Q_5 \begin{pmatrix} C_{k13} \\ C_{k14} \\ C_{k15} \end{pmatrix}$$

5) 求出归一化的权重 u_i 和 v_q :

$$u_t = u_t^* / \sum_{t=1}^5 u_t^* \quad t = 1, \dots, 5$$

$$v_q = \begin{cases} v_q^* / \sum_{q=1}^3 v_q^* & q = 1, 2, 3 \\ v_q^* / \sum_{q=4}^6 v_q^* & q = 4, 5, 6 \\ v_q^* / \sum_{q=7}^9 v_q^* & q = 7, 8, 9 \\ v_q^* / \sum_{q=10}^{12} v_q^* & q = 10, 11, 12 \\ v_q^* / \sum_{q=13}^{15} v_q^* & q = 13, 14, 15 \end{cases}$$

由此可求出一级因素的权值分配向量 $Q = (0.2, 0.27, 0.15, 0.20, 0.18)$, 二级因素的权值分配向量 $Q_1 = (0.35, 0.3, 0.35)$, $Q_2 = (0.4, 0.3, 0.3)$, $Q_3 = (0.34, 0.33, 0.33)$, $Q_4 = (0.3, 0.3, 0.4)$, $Q_5 = (0.33, 0.34, 0.33)$.

2.3 计算模糊评定向量

设评委对第 $k(k = 1, 2, \dots, M)$ 个被评价的课程在末层(本文指二级指标)各因素(指标) $V_q (q = 1, 2, \dots, 15)$ 方面的模糊评定向量为 $C_{kq} = (c_{kq}^A, c_{kq}^B, c_{kq}^C, c_{kq}^D)$, 其中 $c_{kq}^A, c_{kq}^B, c_{kq}^C, c_{kq}^D$ 分别表示第 k 个被评价的课程在 V_q 方面的评定级别为 $V_q^A =$ 优、 $V_q^B =$ 良、 $V_q^C =$ 中、 $V_q^D =$ 差的百分率. 比如, 有 10 个评委对第 k 个被评课程分别有 5 个给出 V_q^A 级, 2 个给出 V_q^B 级, 2 个给出 V_q^C 级, 1 个给出 V_q^D 级, 则 $C_{kq} = (0.5, 0.2, 0.2, 0.1)$.

再设第 k 个被评价课程在一级指标 $U_t (t = 1, 2, 3, 4, 5)$ 方面的模糊评定向量为 $B_{kt} = (b_{kt}^A, b_{kt}^B, b_{kt}^C, b_{kt}^D)$, 其中 $b_{kt}^A, b_{kt}^B, b_{kt}^C, b_{kt}^D$ 分别表示第 k 个被评课程在 U_t 方面的评定级别为 $U_t^A =$ 优、 $U_t^B =$ 良、 $U_t^C =$ 中、 $U_t^D =$ 差的百分率.

由此可得

$$B_{k1} = Q_1 \begin{pmatrix} C_{k1} \\ C_{k2} \\ C_{k3} \end{pmatrix} \quad B_{k2} = Q_2 \begin{pmatrix} C_{k4} \\ C_{k5} \\ C_{k6} \end{pmatrix} \quad B_{k3} = Q_3 \begin{pmatrix} C_{k7} \\ C_{k8} \\ C_{k9} \end{pmatrix}$$

2.4 综合评价

2.4.1 计算末层各指标的评定分数

设 $P = (90, 80, 70, 60)$ 为评定级别向量, 其中 90, 80, 70, 60 分别表示评定级别为优、良、中、差, $F_{kv_q} (q = 1, 2, \dots, 15)$ 为第 k 个被评课程在指标 V_q 方面的得分. 已知 V_q 的权重为 v_q , V_q 的模糊评定向量为 C_{kq} , 所以 $F_{kv_1} = PC_{k1}^T v_1, F_{kv_2} = PC_{k2}^T v_2, \dots, F_{kv_{15}} = PC_{k15}^T v_{15}$.

2.4.2 计算中间层各指标的评定分数

本文的中间层即指一级指标. 设 $F_{kU_t} (t = 1, 2, 3, 4, 5)$ 为第 k 个被评课程在指标 U_t 方面的得分, 已知 U_t 的权重为 u_t , U_t 的模糊评定向量为 B_{kt} , 所以 $F_{kU_1} = PB_{k1}^T u_1, F_{kU_2} = PB_{k2}^T u_2, F_{kU_3} = PB_{k3}^T u_3, F_{kU_4} = PB_{k4}^T u_4, F_{kU_5} = PB_{k5}^T u_5$.

2.4.3 计算目标层的得分(总分)

假设 $a_k^A, a_k^B, a_k^C, a_k^D$ 分别表示第 k 个被评价课程在目标层 U 方面的评定级别为 $U^A =$ 优、 $U^B =$ 良、 $U^C =$ 中、 $U^D =$ 差的百分率, 笔者用 $A_k = (a_k^A, a_k^B, a_k^C, a_k^D)$ 表示第 k 个被评课程对目标层的总评定向量, 由 2.3 中的 $B_{k1}, B_{k2}, B_{k3}, B_{k4}, B_{k5}$ 即可求出 $A_k = Q \cdot (B_{k1}, B_{k2}, B_{k3}, B_{k4}, B_{k5})^T = (a_k^A, a_k^B, a_k^C, a_k^D)$, 然后将 A_k 代入公式 $F_k = PA_k^T = (90, 80, 70, 60)A_k^T$, 即可求出表示第 k 个被评价课程总分的 F_k .

2.5 数据处理

数学模型建立后, 可编出相应的计算机程序, 形成精品课程评价支持系统(见图 2). 评委只对每个课程的各级指标给出相应的权重区间及二级指标的评定级别, 计算机便可自动运算出被评价课程的总得分, 同时将所有被评价课程的名次、单位、主持人、名次、各项指标得分、总分统计出来.

2.6 实例分析

某高校 2007 年要从 16 门校级精品课程(2 门校级精品课程和 14 门校级精品建设课程)中选出 4 门课程推荐省级精品课程, 首先将这 16 门课程分为 4 组(每组 4 门课程)进行预选, 每组选出 2 门共计 8 门课程. 针对这 8 门课程, 利用本文的评价模型遴选出 4 门推荐省级精品课程, 各课程评定分数及名次见表 1(限于篇幅, 只列出各课程的总分, 其他各项指标得分略).

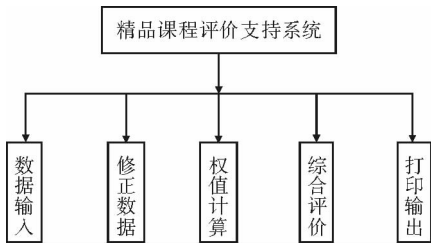


图2 精品课程评价支持系统

表1 综合评价表

编号	总分	排序	编号	总分	排序
1—1	95.6	1	3—1	94.3	2
1—2	85.4	6	3—2	79.4	8
2—1	86.3	5	4—1	90.6	4
2—2	92.1	3	4—2	80.5	7

评定最终结果按5个级别划分:优秀(总分 ≥ 90),良好($90 > \text{总分} \geq 80$),中等($80 > \text{总分} \geq 70$),一般($70 > \text{总分} \geq 60$),差(总分 < 60)。此次评审中,1—1号、3—1号、2—2号、4—1号获得校级优秀精品课程并推荐至省级精品课程评审,在省级评审中,有3门通过省级精品课程的评审,其中2门被推荐申报国家级精品课程的评审。

3 结论

本文根据国家精品课程评审指标体系,构建了

(上接第104页)

3 结语

本文用移动平均熵值法,基于真实的金融数据,对股票的业绩表现进行排序,长期来看,所选出的投资组合 top5 在风险不太高的情况下可以获得比投资组合 top10, rand20 更高的收益,而且比起复杂的区间数 PROMETHEE 方法来,不失为一种简单、高效的方法。由于多目标决策问题存在普遍性,如何针对不同的多目标决策问题选取不同的排序方法,以及针对同一问题如何选取最优的排序方法,将是下一步的研究方向。

参考文献:

[1] Bouri A, Martel J M, Chabchoub. A multi-criterion ap-

基于 Fuzzy 统计的精品课程评价模型,确定各评价指标的权重,再根据模糊算子计算被评课程各项指标的得分及总分,将精品课程的定性评价转化为定量评价。经实践检验,该方法克服了以往精品课程评审过程单一化、主观化的缺点,使评审客观、公正、合理,易于操作,且结果具有更高的可信度。鉴于精品课程评价指标体系中各因素在评价中的贡献不同,因而还要考虑指标体系中各因素的权值分配,由于权值向量的确定是一个不断比较、综合的过程,因此在实际操作中要将数据反复磨合,逐步提高权值向量的合理性,使评价更加准确和完善。

参考文献:

[1] 黄廷祝,傅定英. 国家精品课程《线性代数与空间解析几何》建设[J]. 电子科技大学学报:社会科学版,2005(S1):46.
 [2] 陈东升. 线性代数与空间解析几何及其应用[M]. 北京:中国高等教育出版社,2010.
 [3] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2000.
 [4] 陈东升,张银鹤,朱金蝉. Fuzzy 统计下的体育教学技能评价[J]. 数学的实践与认识,2004,34(3):25.
 [5] 陈东升,谭瑞梅,杨杰. 网络课程的模糊综合评价[J]. 电化教育研究,2006(12):42.

proach for selecting attractive portfolio[J]. J of Multi-criteria Decision Analysis,2002(11):269.

[2] Albadvi A, Chaharsooghi S K, Esfahanipour A. Decision making in stock trading:An application of PROMETHEE [J]. European J of Operational Research, 2007, 177:673.
 [3] Qu Shuanghong, Li Hua, Guo Xiaoli. Application of interval-PROMETHEE method for decision making in investing [C]//The 10th Int Symposium on Operations Research and It's Applications, Dunhuang:ORSC,2011:314.
 [4] 曲双红,李华,李刚. 基于主成分分析的几种常用改进方法[J]. 统计与决策,2011(3):150.