

时间—温度指示器响应动力学模型的研究

佟懿 谢晶* (上海水产大学食品学院, 上海 200090)

摘要 在食品流通贮藏过程中可以应用时间温度指示器实现对食品货架期进行实时监测和预报。对预测食品货架期的常用数学模型, 如 Arrhenius 方程、Z 值模型、 Q_{10} 等的原理及应用进行了详述。

关键词 货架期; 冷藏链; 动力学模型; TII

中图分类号 S11+9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)22-09341-03

Study on the Response Kinetics Model of Time-temperature Indicator

TONG Yi et al (College of Food Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090)

Abstract The real-time monitoring and prediction of the shelf life of foods could be realized by applying time-temperature indicator in the circulation and storage process of foods. The principle and application of common mathematical models for predicting the shelf life of foods such as Arrhenius equation, Z value model, Q_{10} were discussed in detail.

Key words Shelf life; Cold chain; Kinetics model; TII

1 问题的提出

1975年, Cacula等^[1-2]将工程产品失效的概念引入食品领域, 认为食品品质随着时间的推移不断下降, 并最终降低到人们不能接受的程度, 这种情况称为食品失效(Food Failure), 失效时间则对应着食品的货架寿命。食品的货架寿命是指从感官和食用安全的角度分析, 食品品质保持在消费者可接受程度下的贮藏时间。食品的货架寿命主要取决于4个因素: 组成结构、加工条件、包装和贮藏条件。

对易腐需低温保存食品而言, 食品从生产到分配、贮藏和消费的整个过程, 食品的品质及其货架期在很大程度上取决于它的实际温度历程, 因此在低温流通过程中进行温度监控是非常有必要的^[3]。例如, 通常在4℃的低温条件下冷却肉的保质期约为5d, 而在37℃或更高温度下保存则不过几个小时。但由于食品在整个储存-运输-销售过程温度变化的不可预测性, 使得食品标注的货架期与食品真正可流通过期很难一致, 仅标明食品使用期限难以保证食品品质, 且易造成浪费。时间-温度指示器(TII, Time Temperature Indicator)提供了一种很好的解决方法。TII可作为产品包装的一部分, 通过机械形变或颜色变化反映其温度历程、估计剩余货架期^[4-7]。而TII研究的前提是获得食品货架期的预测模型, 因此, 有关食品货架期预测模型的研究是目前研究的热点问题之一。

2 预测食品货架期的方法

尽管不同食品腐败的机理各不相同且变质反应非常复杂, 但通过研究变质机理能找到预测食品货架寿命的方法, 食品腐败过程中品质的损失可以通过动力学模型得到很好的反映^[8]。化学反应动力学模型是反映食品品质变化的理论模型, 可在不同条件下, 对食品品质分析推导出一系列的预测模型, 如基于食品色泽变化来测定食品品质损失程度的亮度法(L^*), 可预测杀菌操作中食品货架寿命的Z值模型, 根据食品中特定微生物SSO生长来预测易腐食品货架寿命

的微生物动力学生长的数学模型。另外, 也可以通过对化学反应动力学模型进行推导而获得货架期寿命预测模型, 如 Q_{10} 是以Arrhenius关系式为基础推导出的预测模型。

2.1 食品品质函数 Labuza指出, 在食品加工和贮藏过程中, 大多数与食品质量有关的品质变化都遵循零级或一级反应动力学规律^[9]。针对不同的反应级数有不同的食品品质函数表达式(表1)。大多数食品的质量损失可以用定量品质指标A(营养素、特征风味)的损失或感官品质指标B(异味、褪色)的形成来表示^[10]。

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^n \quad (1)$$

$$-\frac{d[B]}{dt} = k[B]^n \quad (2)$$

式中, k, k 为反应速率常数, n, n 为反应级数。

表1 不同反应级数的食品品质函数

Table 1 Food quality function with different reaction orders

反应级数 Reaction order	级	品质函数 F(A) Quality function
零	—	$A_0 - A$
—	—	$\ln \frac{A_0}{A}$
—	—	$\frac{1}{(n-1) \times (A^{1-n} - A_0^{1-n})}$

A或B经过适当转换后可表示为时间t的线性函数。对于零级反应, 采用线性坐标可得到一条直线; 对于一级反应, 采用半对数坐标也能得到一条直线。这样, 根据少数几个测定值和线性拟合的方法就可求得上述级数, 并求得品质函数F(A)中各参数的值, 然后通过外推法求得货架寿命终端时间的品质A或B, 也可计算出品质达到某一特定值时的贮藏时间。同样, 也可求得某个贮藏时间的品质值。

汪琳等研究了番茄采后贮藏过程中果皮颜色的变化规律, 发现色泽角(H^*)、色泽比(a/b)和明度等主要颜色参数的变化均符合一级动力学模型, 并由试验确定了各颜色模型的动力学参数: 参考变化速率常数(k)和反应活化能(E_A)^[11]。赵思明等研究了不同温度下鱼丸贮藏过程中细菌总数、脂肪氧化值(TBA值)及挥发性盐基氮值(TVB-N值)随存放时间的变化规律及其动力学特性, 建立了细菌总数、TBA值、TVB-N值与贮藏温度和贮藏时间的动力学模型, 以预测和控制鱼丸在贮藏过程中的品质和货架期^[12]。

项目基金 “十一五”国家科技支撑计划重点项目课题《农产品物流过程品质动态监测与跟踪技术研究》(2006BAD30B03); 上海市科委重大科技攻关项目(07DZ19508)。

作者简介 佟懿(1984-), 男, 天津人, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程。* 通讯作者。

收稿日期 2008-05-19

食品品质函数的确立可在一定程度上解决同一种食品不同个体间品质变化的不可比较性,量化数据 k (反应速率常数)可对不同食品品质进行客观比较。而反应速率常数与温度的关系一般符合 Arrhenius 方程。

2.2 Arrhenius 方程 食品因种类不同及所处环境条件的变化,使得描述其货架寿命的动力学方程也随之变化。食品从工厂生产出来并包装好后,经过运输到仓库、批发中心、零售商,最后到消费者手里,温度相对于相对湿度、包装内的气体分压、光和机械力等一些因素,对食品质量损失的影响居于首位,而且是唯一不受食品包装类型影响的因素^[10]。

Labuza 应用 Arrhenius 关系式研究了食品的腐败变质速率。

$$K = k_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \quad (3)$$

式中, k_0 为指前因子(又称频率因子); E_A 为活化能(品质因子 A 或 B 变化所需克服的能垒); T 为绝对温度, K ; R 为气体常数, $1.9872 \text{ cal}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 或 $8.3144 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。 k_0 和 E_A 都是与反应系统物质本性有关的经验常数。

对式(3)取对数,得:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_A}{RT} \quad (4)$$

在求得不同温度下的速率常数后,用 $\ln k$ 对热力学温度的倒数($1/T$)作图,可得到一条斜率为 $-E_A/R$ 的直线。Arrhenius 关系式可在高温($1/T$)下借助货架期加速试验获得数据,然后用外推法求得在较低温度下的货架寿命。

谢晶等对贮藏于 273、283 和 293 K 下的香菇进行了品质动力学研究,通过相应的品质能级函数分析确立氨基酸反应级数为零级,基于其与感官值的良好对应关系,将其设立为香菇的鲜度指标;利用 Arrhenius 方程对活化能 E_A 和 Q_{10} 计算并对照感官评定,确定了以氨基酸为香菇鲜度指标的动力学模型,并进行货架寿命的预测^[13]。

2.3 亮度的变化测定质量损失法 食品的一些特别属性变化通常可以反映食品品质的损失。例如,某些食品可以通过亮度法(L^*)来测定食品品质的损失程度。食品的亮度(L^*)随着时间的变化^[14]可以表示为:

$$\frac{dL^*}{dt} = -k_{\text{brown}} L^{*n} \quad (5)$$

式中, n 为反应级数, k_{brown} 为食品褐变速率常数,取决于温度的变化 T (K),且符合 Arrhenius 方程。

$$k = k_{\text{ref}} \exp\left[-\frac{E_A}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{ref}}}\right)\right] \quad (6)$$

式中, k_{ref} 为参考温度下的速率常数, E_A 为反应的活化能,活化能的变化反映着食品品质的损失程度, R 为气体常数($8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$), T_{ref} 为参考温度(K)。

食品亮度的数学模型与反应级数有着密切的关系,由该模型绘制的指数衰减曲线呈线性关系,该曲线反映食品品质变化的程度。

李欣对菠萝浓缩汁在储藏过程的褐变研究中发现,菠萝浓缩汁在储藏过程中色泽变劣的程度与储藏时间、储藏温度呈正相关;色值 L^* 、 b^* 值随储藏温度升高和储藏时间延长而下降,且遵循一级反应动力学;色值 a^* 、 E 值、褐变指数均随储藏温度升高和储藏时间延长而升高,均遵循零级反

应动力学^[15]。

2.4 Z 值模型 从反映温度对反应速率常数的影响角度,除 Arrhenius 模型外,还有 Z 值模型^[16-17]。对于以化学反应为主的品质变化,如贮存、加热等过程,常用 Arrhenius 模型;对于杀菌等操作即以微生物改变为主的过程,常用 Z 值模型,以用于评估食品品质损失。

食品工业中,微生物的死亡大多应用一级反应动力学模型:

$$N = N_0 \times 10^{-\frac{t}{D}} \quad (7)$$

式中, N 为 t 时的活菌数; N_0 为初始活菌数; t 为时间(s); D 为 10 倍减少时间。将式(7)进行变化,得:

$$D = \frac{t}{\log \frac{N_0}{N}} \quad (8)$$

由式(8)可知,式(7)的物理意义为在一定环境和一定温度下杀死 90% 微生物所需的时间。 D 值越大,该菌的耐热性越强。Z 值定义为引起 D 值变化 10 倍所需改变的温差($^{\circ}\text{C}$),其定义式为:

$$Z = \frac{T - T_r}{\log D_r - \log D} = \frac{T - T_r}{\log \frac{D_r}{D}} \quad (9)$$

式中, D_r 为参考温度下的 D 值, Z 值越大,因温度上升而获得的杀菌效果增长率越小。式(8)、(9)组成了 Z 值模型。

C. voegel - Turenep 以类似于“热力-致死”的杀菌模型为基础,建立了 3 个经验模型,以确定静态条件下温度以及水分活度对苹果褐变反应诱导期长短的影响。田伟等认为 Arrhenius 模型与 Z 值模型既有联系又有区别,在一定条件下的某一温度范围内,两者都可以表示为生物或营养物的耐热特性^[18]。由于模型本身的特点,外推试验温度时 Z 值模型所求得的 k 值恒高于 Arrhenius 模型的 k 值。在选择数学模型来描述食品品质损失时,需要对同样的试验数据用不同模型进行拟合,相互比较,方可确定哪一种模型更为合理。

2.5 Q_{10} 模型 Q_{10} 定义为温度上升 10 后,反应速率为原来速率的倍数或者指食品贮存在高于原来储存温度 10 的条件下,其货架 Q_s 的变化率。 Q_{10} 的函数形式如下:

$$Q_{10}^{(T_0 - T)/10} = \frac{s(T)}{s(T_0)} \quad (10)$$

式中, s 为货架寿命(d); T_0 为通过感官评定确定货架寿命的已知温度点($^{\circ}\text{C}$); T 为所要求货架寿命的温度点($^{\circ}\text{C}$), $T_0 > T$ 。

已知 Arrhenius 方程(3),对其进行微分,然后从 T_1 到 T_2 积分得 E_A 与温度、反应速率常数的关系式^[19]:

$$E_A = R \frac{T_1 \times T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{k_2}{k_1} \quad (11)$$

式中, k_1 、 k_2 为对应 T_1 、 T_2 温度下的速率常数。由回归计算可得出相差 10 时的活化能 E_A 。由式(11)求得 E_A ,而获得反映 Q_{10} 与活化能之间关系的模型:

$$Q_{10} = \exp\left[\frac{E_A \times 10}{RT(T + 10)}\right] \quad (12)$$

式中, E_A 为活化能(品质因子 A 或 B 变化所需克服的能垒); R 为气体常数, $8.3144 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。由式(12)可获得不同温度下的货架寿命^[14]。

刘晓丹等对贮藏于296、286和276 K条件下的番茄进行了理化和感官评定,并依据感官因子运用 Q_{10} 公式进行了不同温度下的货架期预测,获得了286~296 K温度段的货架寿命预测方程,通过计算得温度290 K条件下番茄的货架寿命约为13.35 d^[20],该值与该试验数据获得很好的一致。

2.6 描述微生物动力学生长的数学模型 食品腐败主要是微生物活动的结果。前人对食品的微生物腐败进行了大量系统的研究,特别是对水产品中微生物生长的预测研究,因为新鲜鱼类是最易腐败的一类食品^[17]。近年来,食品微生物预报技术在国外被广泛研究,利用数学模型定量描述食品特性(如pH值、水分活度)和加工流通环境因子(如温度、气体组成)对食品中微生物生长、残存和死亡的动态影响,以预测货架寿命和微生物学安全性^[21]。对鲜鱼类腐败微生物研究表明,在大多数情况下,鲜鱼类所含微生物中只有部分微生物参与腐败过程^[22],这些适合生存和繁殖并产生腐败臭味和异味代谢产物的微生物,就是该产品的特定腐败菌(Specific Spoilage Organisms,SSO)^[23]。由于是SSO造成腐败,所以SSO的对数和产品剩余货架期之间存在密切关系,这就有可能依据SSO初始数和生长模型来预测产品的剩余货架期^[24]。近年来,研究者提出不少描述微生物动力学生长的数学方程,包括Logistic方程、Gompertz方程、Richards方程、Sanford方程、Schnute方程等^[25-26],其中Logistic方程和Gompertz方程因使用方便,在有关SSO和腐败细菌生长动力学研究中被广泛使用^[27-30]。

对多种水产品而言,货架期预测的核心是确定SSO并建立其相应的生长模型。在此基础上,通过预测SSO的生长趋势可以成功预测产品的货架期。某一产品中,SSO达到稳定期后的最大菌数(N_{max})和微生物在货架期终点时的菌数(N_S)基本固定在一个范围内,当 N_{max} 和 N_S 确定后,由Arrhenius模型可计算出最大生长速率(μ_{max})与延滞时间(Lag),然后根据SSO生长动力学模型计算SSO从 N_0 增殖到 N_S 的时间,从而预测货架期(SL)^[31]。同样,根据Logistic方程或Gompertz方程得到任何时刻的细菌数 $N(t)$ 后,水产品剩余货架期也可以计算出来。由Gompertz模型可以推导出下面的货架期预测公式:

$$SL = Lag - \frac{\log \frac{N_{max}}{N_0}}{2.718 \times \mu_{max}} \left[\ln \left(- \ln \frac{\log \frac{N_S}{N_0}}{\log \frac{N_{max}}{N_0}} - 1 \right) \right] \quad (13)$$

应用SSO的生长模型进行货架期预测时,需要具体分析环境(温度)信息,建立以SSO生长模型为基础的数据库,其首要条件是开发合适的数据采集装置,记录贮藏中环境的变化,从而依据数据库中储存的SSO生长动力学数据快速预测货架期^[27,32-34]。

3 结语

笔者对适用于TII的预测食品货架期的几种动力学模型进行了详细阐述,从研究现状看,对于同一个研究对象可以用几种预测模型进行回归拟合,但还没有找出一个精确的货架期预测模型,因此,需要大量的试验进行验证,以确定最佳的预测模型。总之,TII正确使用的前提是获得准确的食品货架期预测模型,然后选择与之匹配的TII变色方案,只

有这样才能实现食品品质的动态指示。

参考文献

- [1] GACCLA MC. The design of experiments for shelf life study[J]. *Journal of Food Science*, 1975, 40:399-403.
- [2] GACCLA MC, KUBALAJ J. Statistical models for shelf life failures[J]. *Journal of Food Science*, 1975, 40:404-409.
- [3] 徐倩, 谢晶. 食品安全与低温流通中的温度监控[J]. *上海水产大学学报*, 2007, 16(2):180-184.
- [4] TAOUKIS P S, LABUZA T P. Applicability of time-temperature indicators as shelf life monitors of food products[J]. *Journal of Food Science*, 1989, 54(4):783-788.
- [5] RICE J. Keeping time-temperature tabs on refrigerated foods[J]. *Food Process*, 1989, 50(8):149-158.
- [6] SHERLOCK M F U B, TAOUKIS P S, et al. A systematic evaluation of time-temperature indicators for use as consumer labels[J]. *J Food Protect*, 1991, 54(11):885-889.
- [7] FU B, PEIROS S, THEODORE P L. Predictive microbiology for monitoring spoilage of dairy products with time-temperature integrators[J]. *Journal of Food Science*, 1999, 56(5):1209-1215.
- [8] VAN MAJ S. Statistical aspects of kinetic modeling for food science problems[J]. *Food Sci*, 1996, 61(3):477-485.
- [9] LABUZA T P, SHAPERLO M. Prediction of nutrient losses[J]. *J Food Proc and Pres*, 1978, 2:91-99.
- [10] 菲尼马. 食品化学[M]. 王璋, 许时婴, 江波, 等. 译. 3版. 北京: 中国轻工业出版社, 2003:849-850.
- [11] 汪琳, 应铁进. 番茄果实采收后贮藏过程中的颜色动力学模型及其应用[J]. *农业工程学报*, 2001, 17(3):118-121.
- [12] 赵思明, 李红霞. 鱼丸贮藏过程中品质变化动力学模型研究[J]. *食品科学*, 2002, 23(8):80-82.
- [13] 谢晶, 刘晓丹, 邓伯祥. 香菇在不同温度下品质动力学研究及货架寿命的预测[EB/OL]. (2006-04-24) [2008-05-01] http://220.181.31.82/forum/content/1830_459311_1.htm
- [14] VOEGEL TURENE C, MAHFOUZ M, ALLAF K. Three models for determining the induction time in the browning kinetics of the granny smith apple under static conditions[J]. *Journal of Food Engineering*, 1999, 41(3/4):133-139.
- [15] 李欣. 菠萝浓缩汁在储藏过程中美拉德褐变及其反应动力学研究[J]. *食品科技*, 2007(9):178-181.
- [16] FUJIKAWA H, ITOHT. Thermal inactivation analysis of Mesophiles using the Arrhenius model and Z value models[J]. *J Food Prot*, 1998, 61(7):910-912.
- [17] JONSSON U, SNYGG B G. Testing two models for the temperature dependence of the heat inactivation rate of bacillus spores[J]. *J Food Sci*, 1997, 42(5):1251-1252.
- [18] 田伟, 徐尧润. 食品品质损失动力学模型[J]. *食品科学*, 2000, 21(9):14-18.
- [19] 扬宏顺, 冯国平, 李云飞. 嫩茎花椰菜在不同气调贮藏下叶绿素和维生素C的降解及活化能的研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(4):172-175.
- [20] 刘晓丹, 谢晶. 番茄的质量因子分析及货架寿命预测[J]. *食品科技*, 2006(9):65-68.
- [21] GRAML, HUSS H H. Microbiological spoilage of fish and fish products[J]. *Int J Food Microbiol*, 1996, 33:121-37.
- [22] MCMEKINT A, GILY J A, ROSS T N, et al. Predictive microbiology: Theory and application[M]. Somerset: Research Studies Press Ltd, 1993.
- [23] MAN C M D, JONES A A. Shelf life evaluation of foods[M]. Gaithersburg Maryland USA: Aspen Publishers Inc, 2000:110-139.
- [24] LUND B M, BAIRD PARKER T C, GOULD G W. Microbiological safety and quality of food[M]. Gaithersburg Maryland USA: Aspen Publishers Inc, 2000:472-506.
- [25] 杨宪时, 许钟, 肖琳琳. 水产食品特定腐败菌与货架期的预测和延长[J]. *水产学报*, 2004, 28(1):106-111.
- [26] BUCHANAN R L. Predictive food microbiology[J]. *Trends Food Science Tech*, 1993, 4:6-11.
- [27] DALGAARD P. Modelling of microbial activity and prediction of shelf life of packed fresh fish[J]. *Int J Food Microbiol*, 1995, 19:305-3.
- [28] 徐天宇. 食品微生物生长预测模型[J]. *食品科学*, 1995(16):17-23.
- [29] KOUTSOUMAN K, NICHAS G J E. Application of a systematic experimental procedure to develop a microbial model for rapid fish shelf life prediction[J]. *Int J Food Microbiol*, 2000, 60:171-184.
- [30] DATGAARD P, VANCANNEYT M, EURAS V N, et al. Identification of lactic acid bacteria from spoilage associations of cooked and hilled shrimps stored under modified atmospheres at temperatures between 0 and 25 [J]. *J Appl Microbiol*, 2003, 94:80-89.

样品测定方法分别在0~8 h 时间内,每2 h 进样10 μ l,测定其峰面积,计算5次测定结果的RSD为1.84%,表明供试品在8 h 内稳定。

表1 不同提取方法对胶囊中槲皮素含量的影响

Table 1 Effects of different extraction methods on quercetin content in the capsule

编号 Code	提取方法 Extraction methods	峰面积 Peak area	胶囊中槲皮素含量 Quercetin content in the capsule ng/g
1	甲醇,超声提取30 min	1 239 894	44.9
2	乙醇,超声提取30 min	274 029	10.3
3	80%甲醇,超声提取30 min	1 273 156	47.3
4	甲醇,90 回流30 min	1 176 609	49.6
5	80%甲醇,90 回流30 min	1 146 674	44.9

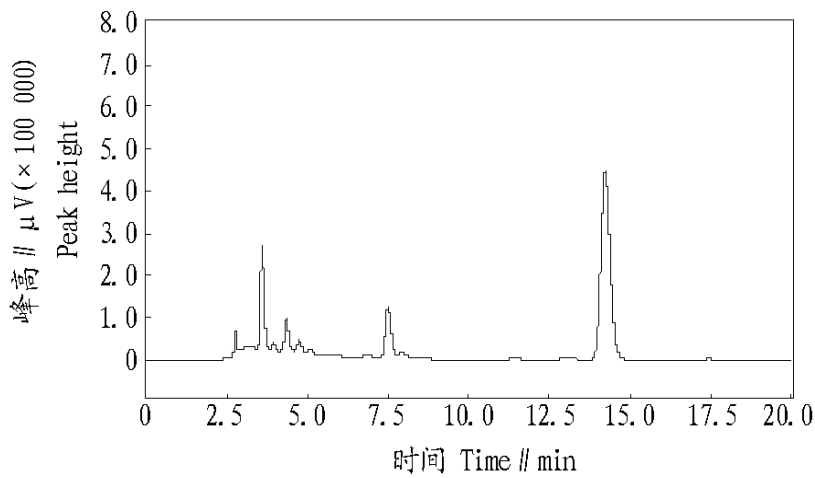


图2 乙肝清胶囊提取液HPLC 图谱

Fig.2 HPLC chromatogram of the extract from Yi Gan Qing capsule

2.5 精密度考察 取过0.45 μ m 微孔滤膜的对照品溶液10 μ l,重复进样,测定5次,测定峰面积,计算5个数据的RSD为1.57%,结果表明该法精密度良好。

2.6 重现性考察 取同一批次乙肝清胶囊内容物5份,按供试品溶液配制法配制5份溶液,按样品测定方法,分别测定峰面积,计算5个数据的RSD为2.21%,结果表明该方法重现性良好。

2.7 加样回收率考察 精密称取在105 $^{\circ}$ C 烘干至恒重的槲皮素对照品52 ng,加甲醇超声溶解,并定容至100 ml。制成1 ml 中含有0.52 ng 槲皮素的对照品溶液。

取乙肝清胶囊内容物颗粒10粒,研细,取粉末约0.1 g,精密称定,共6份,分别精密加入0.52 ng/ml 槲皮素对照品溶液10 ml,按“2.2.2”方法制备供试品并测定其槲皮素含量,计算回收率,结果见表2。由表2 算得加样回收率为99.15%,RSD为1.42%。

(上接第9343 页)

参考文献

- [31] ZWETERING M H, JONGENBURGER I, ROMBOUIS F M, et al. Modeling of the bacterial growth curve[J]. *Appl Environ Microbiol*, 1990, 56: 1875-1881.
- [32] RAIKOWSKY D A, OLLEY J, MEMEEKINT A, et al. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures[J]. *J Bacteriol*, 1982, 149:

表2 加样回收率试验结果(n=6)

Table 2 The results of the addition recovery test (n=6)

试验号 Est No.	测得含量 ng Determined content	回收率 % Recovery
1	10.18	100.4
2	10.05	97.9
3	10.03	97.5
4	10.14	99.6
5	10.21	101.0
6	10.08	98.5

注:加入对照品量均为5.2 ng。

Note: The addition amount in control is 5.2 ng.

2.8 样品测定 取本品3批,每批3份,按“2.2.2”制备样品溶液,过0.45 μ m 微孔滤膜,以10 μ l 进样,测定槲皮素含量,结果表明,3批样品槲皮素含量分别为49.8、50.6和49.1 ng/g,平均含量49.83 ng/g, RSD为1.51%。

3 结论与讨论

通过考察不同的提取溶媒和提取方式对胶囊前处理效果的影响,结果表明,采用甲醇作为提取溶媒,回流提取30 min 的效果优于采用乙醇作为提取溶剂和采用甲醇的超声提取方式。

该制剂处方中赶黄草和贯叶连翘中均含有槲皮素成分,因此,该制剂方法测得的槲皮素含量是方中槲皮素含量的总和。结合相关文献的报道,赶黄草和贯叶连翘治疗乙肝的共性可能提示了其共有成分槲皮素是抗乙肝病毒和修复肝损伤的活性成分之一。另有一些文献证实了槲皮素与金丝桃素的共存可以明显减小金丝桃素的光敏性损伤,这更加证实了赶黄草与贯叶连翘组方的合理性^[6]。

参考文献

- [1] 张旭,杨明.赶黄草有效成分的研究[J].*成都中医药大学学报*,2002,25(4):46-47.
- [2] TIEPOJ, VERCHINOR, DAS AS, et al. Evaluation of the protective effects of quercetin in the hepatopulmonary syndrome[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2007, 45: 1140-1146.
- [3] 刘金钊,王晓里,张俊宋,等.贯叶连翘在癌症治疗中应用前景的研究[J].*中国现代中药*,2006,8(2):22-24.
- [4] 肖志勇,穆青.金丝桃属植物化学成分研究进展[J].*天然产物研究与开发*,2007(19):344-355.
- [5] 国家药典委员会.中华人民共和国药典(一部)[S].北京:化学工业出版社,2005:47,74,147,152.
- [6] BENEDI J, ARROYO R, ROMERO C, et al. Antioxidant properties and protective effects of a standardized extract of *Hypericum perforatum* on hydrogen peroxide induced oxidative damage in PC12 cells[J]. *Life Sciences*, 2004, 75: 1263-1276.

1-5.

- [33] DALGAARD P, BUEH P, SILBERG S. Seafood spoilage predictor development and distribution of a product specific applications software[J]. *Int J Food Microbiol*, 2002, 73: 343-349.
- [34] KOUTSOURNANIS K, GANNAKOUROU MC, Toulis P S, et al. Application of shelf life decision system (SLDS) to marine cultured fish quality[J]. *Int J Food Microbiol*, 2002, 73: 375-382.