

# 维生素 E 乙酸酯制备方法与光谱表征

程海涛

(衡水学院化工学院, 河北 衡水 053000)

**摘要:** 利用新型催化剂固体超强酸  $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$  合成 VE 乙酸酯, 研究催化剂用量、反应物配比、反应时间、反应温度等因素对合成的影响, 通过模糊数学模型确定了最佳合成条件。最优合成工艺: 温度  $40^\circ\text{C}$ , 时间 3 h, 乙酸酐与 VE 摩尔比 1.2, 固体超强酸  $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$  催化剂用量 1.0 g, 反应酯化率为 96.6%。利用 IR、元素分析和  $^1\text{H}$  NMR 对产物结构进行表征, 证明得到的产物为 VE 乙酸酯。

**关键词:** VE 乙酸酯; 光谱分析; 表征; 固体超强酸; 模糊数学

## A New Method for Preparation of Vitamin E Acetate Using $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ Solid Super Acid and Spectroscopic Characterization

CHENG Hai-tao

(Institute of Chemical Technology, Hengshui College, Hengshui 053000, China)

**Abstract:** The synthesis of vitamin E acetate using  $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$  solid super acid as a novel catalyst was investigated with respect to catalyst dose, molar ratio of acetic anhydride to vitamin E, reaction time and reaction temperature. Based on fuzzy mathematical modeling, the optimal synthesis conditions were determined to be temperature  $40^\circ\text{C}$ , reaction time 3 h, molar ratio of vitamin E to acetic anhydride 1:1.2, and catalyst dose 1.0 g. Under these conditions, the conversion rate of vitamin E was 96.6%. The product obtained was identified as vitamin E acetate by infrared spectrum (IR), elemental analysis and  $^1\text{H}$  NMR.

**Key words:** vitamin E acetate; spectroscopic analysis; characterization; solid super acid; fuzzy mathematics

中图分类号: TQ243.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)04-0057-05

维生素 E 乙酸酯是 VE 酯类衍生物之一, 具有抗氧化性、保湿、增强机体免疫力、消除体内游离基、预防癌症发生等功能。同时还具有药用功能, 有助于细胞再生, 广泛用于治疗各种炎症, 还广泛用于化妆品行业中, 大部分高档洗发水、保湿霜、洗面奶都含有 VE 乙酸酯。在食品和饲料行业中 VE 乙酸酯也被广泛使用<sup>[1-3]</sup>。

VE 乙酸酯合成过程中, 多用硫酸以及其他质子酸作为催化剂, 用 VE 和乙酸酐进行酰化反应而制得, 这种方法存在着缺点: 合成产品纯度低、产率也不高, 同时设备腐蚀严重、反应后产品后期不易处理、合成工艺产生的废酸过多。此外还有三乙胺最为催化剂催化合成 VE 乙酸酯<sup>[4]</sup>。固体超强酸  $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$  对于有机类反应, 显示出了卓越的催化活性, 具有催化效率高、易分离、耐水、耐高温、制备方法简单、不产生三废污染物等独特的优点。用固体超强酸  $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$  催化合成 VE 乙酸酯, 尚未见报道。本实验采用固体超强酸  $\text{SO}_4^{2-}$

$/\text{TiO}_2$  作为催化剂合成了 VE 乙酸酯, 并利用红外吸收光谱法、 $^1\text{H}$  NMR 光谱对产物进行表征, 研究利用固体超强酸  $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$  作为催化剂提高 VE 乙酸酯的产率, 减少了有机溶剂的使用量, 为 VE 酯类衍生物的制备提供了新的绿色合成方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂与仪器

VE(AR)、乙酸酐(AR)、硫酸(AR)、二氧化钛(AR)均为国产分析纯试剂。

98-II-B 型恒温加热磁力搅拌器 上海亚荣生化仪器厂; 旋转蒸发仪、402 型真空干燥箱 天津实验仪器厂; DRX-300 核磁共振仪 瑞士 Bruker 公司; 720-30 红外光谱扫描仪 日本 Hitachi 公司; PE2400(II)型元素分析仪 德国 Heraeus 公司。

收稿日期: 2011-01-15

基金项目: 衡水学院科研基金重点项目(2011010)

作者简介: 程海涛(1981—), 男, 助教, 硕士, 研究方向为功能分子化学修饰与分析及性能研究与光谱表征, 精细化工产品合成与分析及性能。E-mail: chenghaitao123456@163.com

## 1.2 固体超强酸 $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ 的制备

纳米  $\text{TiO}_2$  根据文献[5-6]制备。将纳米  $\text{TiO}_2$  按 10g 加入到 100mL 1mol/L 硫酸中浸泡 12h, 然后进行抽滤操作, 通过红外烘干, 在马弗炉中 450℃ 条件焙烧 3h, 制得固体超强酸  $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ 。

## 1.3 VE 乙酸酯的合成

在带有冷凝管和温度计以及氮气保护的微型三口烧瓶中, 依次加入 VE、乙酸酐、固体超强酸  $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ , 同时用恒温加热磁力搅拌器搅拌, 在一定温度下回流进行酯化反应, 应结束后抽滤除去固体催化剂, 滤液减压蒸馏除去剩余的乙酸酐, 得到淡黄色油状物, 即 VE 乙酸酯。酯化率采用标准曲线法测定<sup>[4]</sup>。

## 1.4 产物的结构表征

采用 IR、元素分析和  $^1\text{H}$  NMR 对产物的结构进行表征。

## 1.5 模糊数学评判

利用数学公式将试验结果模糊化, 利用夹角余弦赋权法计算了酯化率的权重值, 从而建立模糊数学评判模型, 得到模糊评价值。此种处理数据的方法综合考虑了各个影响因素间的对比性和联系性, 使试验结果更加精确, 更加快速的得到了合成最佳工艺。

# 2 结果与分析

## 2.1 VE 乙酸酯合成工艺优化

### 2.1.1 物料摩尔比对酯化率的影响

按 1.3 节步骤合成 VE 乙酸酯, 温度 45℃、时间 4h、催化剂用量 1.0mL, 改变 VE 与乙酸酐的摩尔比, 考察其对酯化率的影响, 结果如表 1。

表 1 反应物摩尔比对酯化率的影响

Table 1 Effect of molar ratio of vitamin E to acetic anhydride on esterification rate

$n(\text{乙酸酐}):n(\text{VE})$	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
酯化率/%	79.5	80.7	88.1	86.9	86.5

由表 1 数据可知, 随着乙酸酐的增加, 酯化率逐渐提高, 当  $n(\text{乙酸酐})/n(\text{VE}) > 1.2$  后, 酯化率不再提高, 反而有下降趋势。主要原因是 VE 容易被氧化, 因此当乙酸酐与 VE 摩尔比小于 1 时, 酯化率较低。乙酸酐适当过量会增加反应产率, 当乙酸酐物质的量达到一定程度时会阻碍反应分子接触从而降低了酯化率。由于 VE 乙酸酯合成过程中会产生微量水使乙酸酐浓度变稀, 酯化率降低, 因此乙酸酐在合成过程中需要适当过量, 这与试验数据分析一致。

### 2.1.2 反应温度对酯化率的影响

按 1.3 节的步骤合成 VE 乙酸酯、时间 4h、催化剂用量 1.0mL,  $n(\text{乙酸酐}):n(\text{VE})1.2$ , 只改变反应温度, 考察其对酯化率的影响, 结果如表 2。反应温度的高低对酯化率有很大影响, 高温条件有利于 VE 的酯化反应, 酯化率随温度上升而提高, 45℃ 时转化率达到最大值。温度的高应物分子的平均动能大, 当温度过高会有 VE 氧化、VE 乙酸酯水解等副反应也增多, 反而降低了酯化率。

表 2 反应温度对酯化率的影响

Table 2 Effect of reaction temperature on esterification rate

反应温度/℃	35	40	45	50	55
酯化率/%	72.5	78.9	85.5	84.9	83.9

### 2.1.3 反应时间对酯化率的影响

反应按 1.3 节进行, 温度 45℃、催化剂用量 1.0mL、 $n(\text{乙酸酐}):n(\text{VE})1.2$ , 改变反应时间, 考察其对酯化率的影响, 结果如表 3。

表 3 反应时间对酯化率的影响

Table 3 Effect of reaction time on esterification rate

反应时间/h	3	4	5	6	7
酯化率/%	75.6	84.5	78.5	75.7	74.3

由表 3 可知, 反应 4h 时酯化率较高, 大于 4h 后, 随反应时间增加, 产率逐步降低, 故反应时间以 4h 较合理。由于反应中酯化和水解同步发生, 平衡后酯化率不再提高, 再继续加热则会造成 VE 乙酸酯的分解, 酯化率降低。

### 2.1.4 催化剂用量对酯化率的影响

催化剂对维生素酯化影响很大, 没有催化剂存在情况下酯化率很低, 随着催化剂用量的增大, 酯化率逐步增大, 当催化剂用量为 1.2g 时酯化率最高, 继续增加酯化率不再提高。催化剂过量太多时与反应中生成的微量水反应形成浓硫酸, 浓硫酸会加速 VE 乙酸酯的氧化, 因此产率降低。反应按 1.3 节进行, 温度 45℃、 $n(\text{乙酸酐}):n(\text{VE})1.2$ 、时间 4h, 改变催化剂用量, 考察其对酯化率的影响, 结果如表 4。

表 4 催化剂对酯化率的影响

Table 4 Effect of catalyst dose on esterification rate

催化剂用量/g	0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
酯化率/%	70.9	76.2	85.2	87.5	83.6	83.4

### 2.1.5 正交试验设计及模糊模型处理

在单因素试验的基础上, 选用  $L_9(3^4)$  正交表考察影

响因素, 因素及水平如表 5, 正交试验设计及结果见表 6。

表 5 正交试验因素水平表  
Table 5 Factors and levels for orthogonal array design

水平	A 反应 温度/℃	B 反应 时间/h	C (乙酸酐与 VE 物质的量的比)	D 催化剂 用量/g
1	40	3	1.0	1.0
2	45	4	1.2	1.2
3	50	5	1.3	1.4

表 6 正交试验设计及模糊统计结果  $L_9(3^4)$   
Table 6 Orthogonal array design  $L_9(3^4)$  and fuzzy statistical results

试验号	A	B	C	D	酯化率/%	Y 实测数据	Y* 评价指标的转换值
1	1	1	1	1	53.8	53.8	1.000000
2	1	2	2	2	68.9	68.9	0.780842
3	1	3	3	3	92.3	92.3	0.582882
4	2	2	1	3	75.3	75.3	0.714475
5	2	3	2	1	58.6	58.6	0.918089
6	2	1	3	2	97.4	97.4	0.552361
7	3	3	1	2	93.3	93.3	0.576635
8	3	1	2	3	76.8	76.8	0.700521
9	3	2	3	1	83.2	83.2	0.646635

## 2.1.6 模糊数学理论对试验数据的处理

### 2.1.6.1 模糊统计表的建立

以从优原则为基础, 将试验中得到的指标实测数据通过模糊物元分析方法转换成相应指标隶属度, 所采用的隶属转化函数<sup>[7]</sup>为:

$$Y_{ij}^* = \begin{cases} \frac{Y_{ij}}{\max(Y_i)}, & i \in I_1 \\ \frac{\min(Y_i)}{Y_{ij}}, & i \in I_2 \end{cases} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

式(1)中:  $Y_{ij}^*$  为第  $j$  方案第  $i$  指标实测数据的转换值;  $Y_{ij}$  为第  $j$  项试验方案第  $i$  评价指标的实测值;  $I_1$  为数值越小评价结果越好的评价指标,  $I_2$  为数值越大评价结果越好的评价指标。另外, 为评价指标的总个数;  $n$  为实验的总次数。利用公式(1)计算所得的模糊统计表如表 6。

### 2.1.6.2 模糊评价矩阵的建立

计算每个因素在各个水平上所对应的指标均值, 即

某一因素的第  $K$  个水平所对应指标的均值, 计算方法见公式(2):

$$E_{ij} = \frac{\sum Y_{ij}^*(k)}{K} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,k) \quad (2)$$

式(2)中:  $e_{ij}$  为各因素水平对应指标的平均值;  $Y_{ij}$  ( $k$ ) 是观察值  $Y_{ij}$  中不同因素的第  $k$  个水平所对应数据的转换值;  $K$  为水平数 ( $K=3$ )。  $m$  为评价指标个数 ( $m=1$ );  $n$  为试验方案数 ( $n=9$ )。通过公式计算, 可得到数据如表(7), 表(7)中的每一个因素的每一个指标所对应的各水平均值进行归一化处理, 归一化公式为:

$$T_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sum e_{ij}} \quad (3)$$

通过式(3)计算可得到因素与对应指标评价集合如表(7), 其中每一个因素下面的数字阵就是该因素所对应的评价矩阵。

### 2.1.6.3 权重向量的确定

多个评价指标实验的确定, 必须根据各个评价指标数值分布的特点和关键性程度来确定评价指标的权重。确定权重的方法有两种: 一种专家主观确定法, 另一种是客观确定法。前者是有关的专家学者根据自己多年的经验和理论分析确定各个评价指标的权重, 出现偏差率高; 后者根据客观实验中各个评价指标的分布的偏差程度, 以实验为基础确定评价指标的权重, 偏差越大的评价指标权重越小, 反之则权重较大。本实验中采用客观评价法中的夹角余弦赋权法<sup>[8]</sup>确定各评价指标的权重。

评价因素指标的矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)中:  $a_{ij}$  为第  $j$  个试验方案关于第  $i$  项评价因素的指标值。根据此式可以得到有关正交试验方案关于一个评价指标矩阵为:  $A=(53.8 \ 68.9 \ 92.3 \ 75.3 \ 58.6 \ 97.4 \ 93.3 \ 76.8 \ 83.2)$ 。

评价指标矩阵中, 试验方案中最优评价指标组合  $U^*$  和最差评价指标组合  $U_*$  为:

$$U^*=(u_1^*, u_2^*, \dots, u_m^*), \quad U_*= (u_1^*, u_2^*, \dots, u_m^*) \quad (5)$$

表 7 因素不同水平平均值( $E_i$ )和对应评价指标的评价集合( $T_i$ )

Table 7  $E_i$  and corresponding  $T_i$  at each level of each factor

均值	A			B			C			D		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$E_i$	0.787908	0.728308	0.641264	0.750961	0.713984	0.692535	0.763703	0.799817	0.593959	0.854908	0.636613	0.665959
$T_i$	0.365198	0.337574	0.297228	0.348073	0.330934	0.320993	0.353979	0.370718	0.275302	0.396253	0.295072	0.308675

$$\text{式(5)中: } U^* = \begin{cases} \min \{a_{ij}\} \\ 1 \leq j \leq n, i \in I_1 \end{cases};$$

$$U_* = \begin{cases} \max \{a_{ij}\} \\ 1 \leq j \leq n, i \in I_1 \end{cases};$$

$$U_* = \begin{cases} \min \{a_{ij}\} \\ 1 \leq j \leq n, i \in I_2 \end{cases};$$

由式(5)可以得到最优评价指标组合  $U^*$  和最差评价指标组合  $U_*$  分别为:  $U^*=(97.4)$ ,  $U_*(53.8)$ 。

各试验方案与最完美评价指标组合  $U^*$  和最差试验方案评价指标组合  $U_*$  的相对偏差矩阵可以利用下式计算得出:  $R=(r_{ij})_{m \times n}$ ,  $\Delta=(\delta_{ij})_{m \times n}$

式(6)中:

$$r_{ij} = \frac{|a_{ij} - u_i^*|}{\max\{a_{ij}\} - \min\{a_{ij}\}} \quad (1 \leq j \leq n),$$

$$\delta_{ij} = \frac{|a_{ij} - u_i^*|}{\max\{a_{ij}\} - \min\{a_{ij}\}} \quad (1 \leq j \leq n), \{i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n\}$$

根据式(6)计算所得的各个试验方案与最完美评价指标组合  $U^*$  和最差试验方案评价指标组合  $U_*$  的相对偏差矩阵为:

$$R=(1.000000 \quad 0.65367 \quad 0.116972 \quad 0.506881 \quad 0.889908 \\ 1.000000 \quad 0.094037 \quad 0.472477 \quad 0.325688)$$

$$\Delta=(0.000000 \quad 0.34633 \quad 0.883028 \quad 0.493119 \quad 0.110092 \\ 1.000000 \quad 0.905963 \quad 0.527523 \quad 0.674312)$$

$R$  的行向量  $r_i$  与  $\Delta$  对应的行向量  $\delta_i$  的夹角余弦值为:

$$C=(c_1, c_2, \dots, c_m) \quad (7)$$

$$\text{式(7)中: } c_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij} \delta_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n r_{ij}^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n \delta_{ij}^2}} \quad (i=1, 2, \dots, m)。$$

经计算得  $R$  的行向量  $r_i$  与  $\Delta$  对应的行向量  $\delta_i$  的夹角余弦值:  $C=(0.38031)$ 。

把夹角余弦值进行归一化处理得到归一化权重向量为:  $W=(w_1, w_2, \dots, w_m)$

式(8)中:  $w = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^m C_i}$ 。把作为初始权重, 归一化处理后得到的权重向量为:  $W=(1.000000)$ 。

### 2.1.7 模糊数学评价模型的建立

通过文献资料, 建立模糊数学评价模型<sup>[9]</sup>:  $M_L=W^0 T_L$ , 其中  $W$  为  $m$  个综合评价指标的权重向量,  $T_L$  为试验考查因素  $L$  (即  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  的代表) 的综合评价矩阵,  $M_L$  为因素  $L$  的综合评价结果, 也就是各个因素的隶属度。各个因素的评价矩阵可以由表 5 得到, 分别为:  $T_A$ 、 $T_B$ 、 $T_C$ 、 $T_D$ , 由权重向量和评判关系矩阵, 通过模糊综合评判模型计算得到综合模糊数学评价结果如下:

$$M_A=W^0 T_A=1 \cdot (0.365198 \quad 0.337574 \quad 0.297228)=(0.365198 \quad 0.337574 \quad 0.297228)$$

$$M_B=W^0 T_B=1 \cdot (0.348073 \quad 0.330934 \quad 0.320993)=(0.348073 \quad 0.330934 \quad 0.320993)$$

$$M_D=W^0 T_D=1 \cdot (0.353979 \quad 0.370718 \quad 0.275302)=(0.353979 \quad 0.370718 \quad 0.275302)$$

$$M_C=W^0 T_C=1 \cdot (0.396253 \quad 0.295072 \quad 0.308675)=(0.396253 \quad 0.295072 \quad 0.308675)$$

从模糊数学评价模型计算所得到的评价结果向量中得到最佳工艺组合为:  $M_{A1}$ 、 $M_{B1}$ 、 $M_{C2}$ 、 $M_{D1}$ , 也就是说影响因素  $A$  的第 1 个水平, 影响因素  $B$  的第 1 个水平, 影响因素  $C$  的第 2 个水平, 影响因素  $D$  的第 1 个水平, 最优方案为  $A_1 B_1 C_2 D_1$ , 即温度  $40^\circ\text{C}$ 、时间  $3\text{h}$ 、乙酸酐与  $\text{VE}$  摩尔比  $1.2$ 、催化剂用量  $1.0\text{g}$ 。在最优工艺条件下进行 3 次平行试验, 酯化率分别为  $96.3\%$ 、 $96.7\%$ 、 $96.8\%$ , 平均酯化率为  $96.6\%$ 。

已有文献中<sup>[10]</sup>合成  $\text{VE}$  乙酸酯多采用有机碱, 分别为三乙胺、吡啶和 4-二甲氨基吡啶它们的催化效果如表 8 所示。从表 8 效果和试验结果分析可以看出固体超强酸  $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$  催化合成  $\text{VE}$  乙酸酯具有很高的催化活性。

表 8 各种有机碱催化效果

Table 8 Comparison of the catalytic effects of different organic alkalis on the synthesis of vitamin E acetate

编号	催化剂	用量/mL	酯化率/%	温度/ $^\circ\text{C}$
1	三乙胺	0.13	95.4	55
2	吡啶	0.02	81.3	60
3	4-二甲氨基吡啶	4	90	60

### 2.2 产品的红外光谱分析

红外光谱分析采用  $\text{KBr}$  压片, 产物的红外吸收光谱如图 1 所示。从产物的特征吸收峰可以看出,  $3459\text{cm}^{-1}$  附近的弱吸收峰, 是少量水分或者未反应的  $\text{VE}$  中的一  $\text{OH}$  伸缩振动峰;  $2934\text{cm}^{-1}$  左右的强吸收峰表明有饱和的  $\text{C}-\text{H}$  键存在;  $1733\text{cm}^{-1}$  左右为酯中  $\text{C}=\text{O}$  的吸收峰;  $1634$ 、 $1586$ 、 $1428\text{cm}^{-1}$  等处有吸收峰表明苯环的存在;  $1347\text{cm}^{-1}$  处的吸收峰表明甲基的存在; 在  $1237 \sim 1109\text{cm}^{-1}$  处有多个强吸收峰由于  $\text{VE}$  乙酸酯中  $\text{C}-\text{O}$  键伸缩振动造成的。

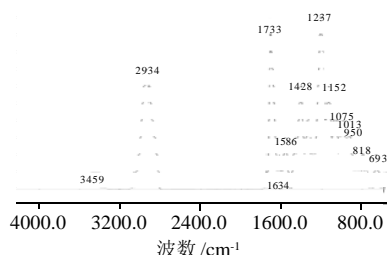


图 1 产品红外光谱图

Fig.1 IR spectrum of vitamin E acetate

### 2.3 元素分析

产物经提纯后进行元素分析。产物中C、H和O的质量分数(实测值/计算值)分别为79.09%/79.15%、10.61%/10.64%、10.18%/10.21%。从以上数据可以看出,测定值与理论计算值相差很少,根据此测定数据可以说明本实验合成的目标化合物为VE乙酸酯( $C_{31}H_{50}O_3$ ),并且元素分析结果也说明产品纯度很高。

#### 2.4 $^1H$ NMR 分析

产物的 $^1H$  NMR的核磁数据如图2所示,从总积分面积上看有51个氢,扣除少量杂质信号,与该化合物含50个氢相吻合。

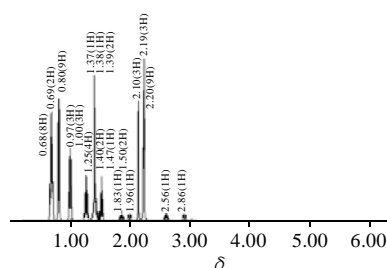


图2 产品的氢谱

Fig.2  $^1H$ NMR spectrum of vitamin E acetate

### 3 结 论

3.1 固体超强酸 $SO_4^{2-}/TiO_2$ 催化合成VE乙酸酯具有很高的催化活性。固体超强酸 $SO_4^{2-}/TiO_2$ 催化合成VE乙酸酯的最佳工艺条件为:温度40℃、时间3h、乙酸酐与VE摩尔比1.2、催化剂用量1.0g,此工艺条件下的酯化率达到96.6%。

3.2 固体超强酸 $SO_4^{2-}/TiO_2$ 催化合成VE乙酸酯,采用模糊数学理论分析与处理正交试验数据,有利于抓住影响合成工艺的主要因素,使试验结果更加精确,大幅度减少了工作强度,精确、快捷而且直观的得到最优

的影响因素组合方案,通过实验检验模糊数学理论在固体超强酸 $SO_4^{2-}/TiO_2$ 合成VE乙酸酯工艺中可行。

3.3 通过红外光谱,元素分析、氢谱分析,证明了以固体超强酸 $SO_4^{2-}/TiO_2$ 作为催化剂制备的最终产物为VE乙酸酯,且经过提纯后得到的产品纯度很高能达到99.8%以上。

3.4 固体超强酸 $SO_4^{2-}/TiO_2$ 作为催化剂合成VE乙酸酯,试验条件与其他催化剂(表6)催化合成VE乙酸酯相比,缩短了反应时间,提高了酯化率,催化剂与产品更容易分离,合成工艺避免使用有机溶剂,为VE乙酸酯的工业化生产提供了绿色、快捷、简便和安全的合成工艺。

#### 参考文献:

- [1] AMES S R. Isomers of alpha to opheryl acetate and theirbiological activity[J]. Lipids, 1982, 6(5): 281-296.
- [2] MICHALKIEWICZ S, PRYCIK M, MALYSZKO J, et al. Voltammetric determination of  $\alpha$ -tocopheryl acetate in pharmaceutical dosage forms[J]. Electroanalysis, 2004, 16(11): 961-965.
- [3] ALBERTS D S, GOLDMAN R, XU Minjian, et al. Disposition and metabolism of topically administered  $\alpha$ -tocopherol acetate: a common ingredient of commercially available sunscreens and cosmetics[J]. Nutrition and Cancer, 1996, 26(2): 193-201.
- [4] 胡传荣, 李洪涛, 付晶, 等. 天然VE乙酸酯的制备[J]. 现代食品科技, 2005(2): 85-87.
- [5] 武瑞涛, 魏雨. 沸腾回流强迫水解法制备纳米 $TiO_2$ 微粒[J]. 无机材料学报, 1999, 14(6): 461-464.
- [6] 张艳峰, 魏雨, 贾振斌, 等.  $TiOCl_2$ 溶液低温水解合成金红石型氧化钛纳米粉[J]. 无机材料学报, 2001, 16(6): 1217-1219.
- [7] 徐栋良, 樊统江, 陈富贵, 等. 模糊正交设计方法在沥青混合料试验中的应用[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2007(8): 60-64.
- [8] 李柏年. 多目标决策中客观性权重的一种确定方法[J]. 运筹与管理, 2002(5): 36-39.
- [9] 李士勇. 工程模糊数学及应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 96-107.
- [10] 郑燕升, 粟晖, 李军生, 等. 三乙胺催化合成维生素E乙酸酯的研究[J]. 广西工学院学报, 2006, 17(3): 33-35.