

Fenton 反应考察抗坏血酸清除羟基自由基能力及动力学

李艳 巩士磊 车影 靳利娥 闫果兰*

(太原理工大学化学化工学院 太原 030024)

摘要 自由基的清除对维持正常的生理活动和抗衰老具有重要意义。抗坏血酸(V_c)是常用的天然抗氧化剂之一,为了有效合理利用 V_c 的抗氧化性,实验利用水杨酸捕捉 Fenton 反应产生的羟基自由基($\cdot OH$),加入 V_c 考察与水杨酸竞争清除 $\cdot OH$ 的能力,选择出最佳清除条件;并根据双底物反应特征,拟合出 Albery 方程,得到了清除 $\cdot OH$ 的规律。结果表明,当 V_c 用量为 4.54 mmol/L 、温度为 $47\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下、反应 90 min 时, V_c 对 $\cdot OH$ 的清除率达到最大,为 46.23% ;拟合出的反应动力学参数最大反应速率为 $0.11\text{ mmol/(L}\cdot\text{min)}$,水杨酸和 V_c 的特征常数分别为 30.2 和 $1.2\times 10^{-3}\text{ mmol/L}$ 。比较实验结果和拟合方程得到的数据,二者非常接近,相对误差在 $1.66\%\sim 5.40\%$ 之间,从而为合理利用抗坏血酸清除羟基自由基提供理论依据。

关键词 羟基自由基;抗坏血酸;清除率;反应动力学

中图分类号:O643.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2015)08-0948-07

DOI:10.11944/j.issn.1000-0518.2015.08.140427

羟基自由基($\cdot OH$)性质非常活泼,可以氧化氨基酸、糖类、核酸、蛋白质和脂类等物质,如果不及时清除,会使机体的细胞、组织、器官受到损伤和破坏,加快机体的衰老,并在一定程度上可以促进肿瘤等疾病的发生和发展^[14]。因此, $\cdot OH$ 的清除对维持机体正常的生理活动和抗衰老具有重要意义。抗坏血酸(V_c)还原性很强,是一种天然存在的重要抗氧化剂,它独特的五元环中存在的共轭双键,很容易捕获自由基,将机体内过量的自由基清除,而自身被氧化为一种稳定的、不对机体造成伤害的物质,因此 V_c 被广泛应用于制药和化妆品工业,也被用作食品防腐剂^[5-8]。典型的 Fenton^[9-10]反应可以产生 $\cdot OH$, $\cdot OH$ 具有较强的氧化性,常用 Fenton 反应选择抗氧化剂并研究其抗氧化效果^[11-13],马勇等^[14]研究了人参花蕾提取液对 $\cdot OH$ 的清除作用,马建华等^[15]研究了水杨酸甲酯对 $\cdot OH$ 的清除,李晓燕等^[16]研究了黑色素对 $\cdot OH$ 清除活性,并通过动力学研究证实了对 $\cdot OH$ 的清除作用机制,孙宏等^[17]研究了白桦树皮中白桦酯醇清除 $\cdot OH$ 的动力学性质并测定了其含量。

为了进一步考察 V_c 清除 $\cdot OH$ 的能力并预测实际应用中 V_c 的用量,本实验采用水杨酸捕获 Fenton 反应产生的 $\cdot OH$,在反应体系中加入 V_c ,研究 V_c 存在下竞争水杨酸清除 $\cdot OH$ 的能力,由于反应体系为双底物反应,为了考察反应情况,实验利用 Dalziel 公式转化为 Albery 方程考察反应类型^[18-21],拟合出 Albery 动力学方程,固定水杨酸浓度,改变 V_c 的浓度对拟合的动力学方程进行验证,为 V_c 在实际应用中发挥抗氧化作用提供理论基础并起指导作用。

1 实验部分

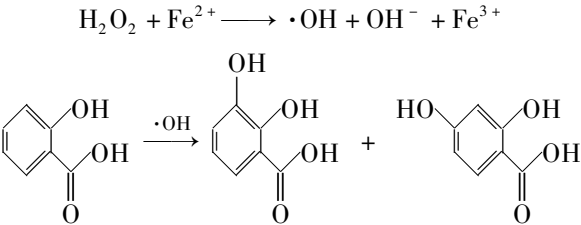
1.1 仪器和试剂

水杨酸、硫酸亚铁、过氧化氢、抗坏血酸等,所有试剂均为分析纯。

电热恒温水浴锅(北京科伟永兴仪器有限公司);TDL-50B 型台式离心机(上海安亭科学仪器厂);752N 型紫外可见分光光度计(上海精密科学仪器有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 实验方法 将一定量的 H_2O_2 与 FeSO_4 混合,使之发生 Fenton 反应,产生 $\cdot\text{OH}$,在反应体系中加入水杨酸,可捕获 $\cdot\text{OH}$ 并产生 3-羟基水杨酸和 5-羟基水杨酸^[22],两种产物在 510 nm 处均有较强吸收^[23],反应方程式如下:



若在反应体系中加入 V_c ,与 $\cdot\text{OH}$ 反应生成去氢抗坏血酸。 V_c 的加入将和水杨酸竞争与 $\cdot\text{OH}$ 反应,从而使 3-羟基水杨酸和 5-羟基水杨酸的生成量减少,在一定的反应时间内,测量在 510 nm 处反应液的吸光度值,与不加 V_c 的吸光度值进行比较可评价抗坏血酸对 $\cdot\text{OH}$ 的清除作用。

清除率按下式计算:

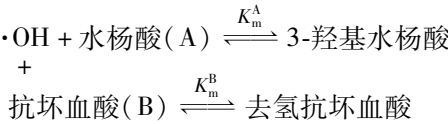
$$S/\% = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100$$

(1)

式中, S 为清除率, A_0 为不加 V_c 时的吸光度值, A_s 为加入 V_c 时的吸光度值。

选取一定量的水杨酸、 H_2O_2 和 FeSO_4 并固定其它条件,改变一个反应条件考察不同浓度的 V_c 、温度、反应时间对清除 $\cdot\text{OH}$ 的影响,选择出最佳反应条件。

1.2.2 动力学模型的建立 该反应为双底物反应类型,由于没有生成三元的复合物,因此可能发生反应的机制是乒乓机制^[20],可能发生的反应为:



可利用 Dalziel 公式转化为 Alberty 方程考察反应类型,Alberty 方程为

$$v = \frac{v_{\max} [A][B]}{K_m^B [A] + K_m^A [B] + [A][B] + A_s^A \cdot K_m^B}$$

(2)

式中, v 为 V_c 清除 $\cdot\text{OH}$ 的反应速率; $[A]$ 为反应体系底物水杨酸的初始浓度; $[B]$ 为反应体系底物抗坏血酸的初始浓度; $v_{\max}$ 为底物 A、B 均饱和时的最大初速度; K_m^A 为 B 饱和时 $v = \frac{1}{2}v_{\max}$ 的 A 的浓度; K_m^B 为 A 饱和时 $v = \frac{1}{2}v_{\max}$ 的 B 的浓度; K_s^A 为 A 物质的解离常数。

反应速率可按照 Dalziel 方程进行模拟计算:

$$\frac{[C]}{v} = \phi_0 + \frac{\phi_A}{[A]} + \frac{\phi_B}{[B]} + \frac{\phi_{AB}}{[A][B]}$$

(3)

式中, ϕ 为动力学系数, $[C]$ 为反应体系中 H_2O_2 的浓度。

在其它条件不变的情况下,在不同的 $[B]$ 的浓度下,以 $[C]/v \sim 1/[B]$ 作图,得到斜率和截距。

$$\text{斜率} = \phi_B + \frac{\phi_{AB}}{[A]} \quad \text{截距} = \phi_0 + \frac{\phi_A}{[A]}$$

在不同的 $[A]$ 下,可得不同的斜率和截距,以截距 $\sim 1/[A]$ 作图,可得到 ϕ_A 、 ϕ_B ,以斜率 $\sim 1/[A]$ 作图可得到 ϕ_0 、 ϕ_A 。

Dalziel 公式可转化为 Alberty 方程关系式:

$$v_{\max} = \frac{[C]}{\phi_0}; K_m^A = \frac{\phi_A}{\phi_0}; K_m^B = \frac{\phi_B}{\phi_0}; K_s^A = \frac{\phi_{AB}}{\phi_B}$$

2 结果与讨论

2.1 最佳反应条件的选择

2.1.1 不同浓度的 V_c 对清除 $\cdot OH$ 的影响 选用浓度为 1.14、2.17、3.41、4.54、5.68 mmol/L 的 V_c , 12.00 mmol/L 水杨酸, 0.90 mmol/L $FeSO_4$, 18.00 mmol/L H_2O_2 按 1.2.1 节方法在 37 °C 反应 60 min, 清除率的结果如图 1 所示。

由图1可以看出,随着 V_c 浓度的增加,反应液的清除率逐渐增大,当浓度增加到 4.54 mmol/L 时,清除率可达 27.6%, 浓度增加到 5.68 mmol/L 时,清除率达到 27.8%, V_c 浓度增大了 1.14 mmol/L, 清除率仅仅增大了 0.2%。所以选择最佳的 V_c 浓度为 4.54 mmol/L。

2.1.2 温度对 V_c 清除 $\cdot OH$ 的影响 选用 V_c 浓度为 4.54 mmol/L, 12 mmol/L 水杨酸, 0.90 mmol/L $FeSO_4$, 18.00 mmol/L H_2O_2 按上述方法分别在 27、37、42、47、57 和 67 °C 恒温水浴中反应 60 min, 计算清除率, 结果如图 2 所示。

由图 2 可以看出,清除率随着温度升高而逐渐增大,当温度为 42 °C 时清除率可达 35.26%。但随后随着温度的升高清除率开始下降,这可能是因为在此较高温度下自由基不稳定,衰减速率加快引起,所以选择最佳反应温度为 42 °C。

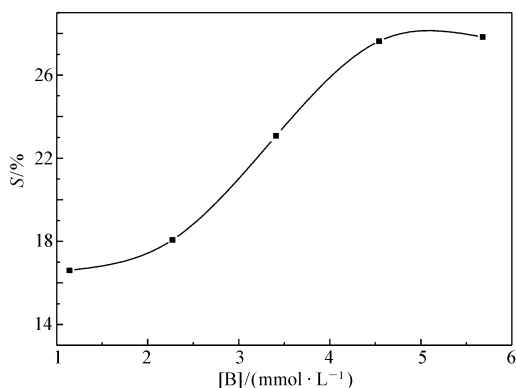


图1 不同浓度的 V_c 对 $\cdot OH$ 清除率

Fig. 1 Scavenging rate of $\cdot OH$ at the different V_c concentration

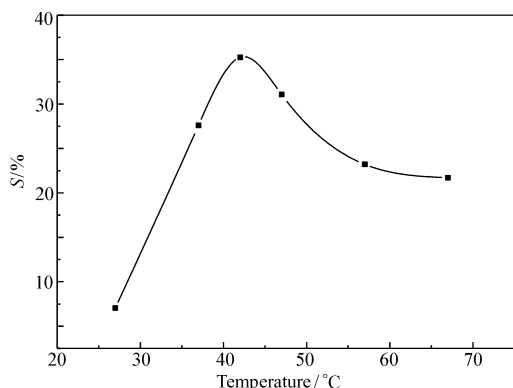


图2 不同反应温度对 $\cdot OH$ 的清除率

Fig. 2 Scavenging rate of $\cdot OH$ at different temperature

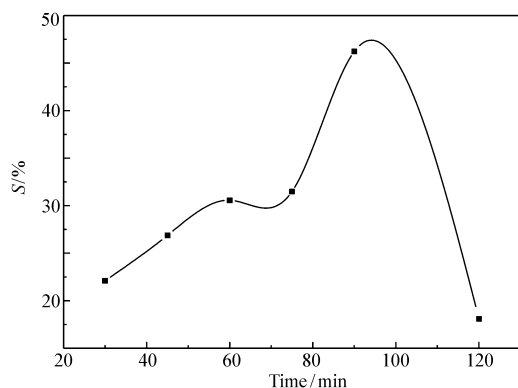


图3 不同反应时间对 $\cdot OH$ 的清除率

Fig. 3 Scavenging rate of $\cdot OH$ at the different time

2.1.3 时间对 V_c 清除 $\cdot OH$ 的影响 选用 V_c 浓度为 4.54 mmol/L, 12.00 mmol/L 水杨酸, 0.90 mol/L $FeSO_4$, 18.00 mmol/L H_2O_2 按上述方法在 42 °C 反应 30、45、60、75、90 和 120 min, 清除率的结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出,随着反应时间的延长,清除率逐渐增大,当反应时间为 90 min 时清除率可达 46.23%。但随后随着反应时间的延长清除率开始下降,所以选择最佳反应时间为 90 min。

根据上述实验选择出 V_c 清除 $\cdot OH$ 的最佳反应条件为: V_c 、水杨酸、 $FeSO_4$ 和 H_2O_2 浓度分别为 4.54 mmol/L、12.00 mmol/L、0.90 mol/L 和 18.00 mmol/L 在 42 °C 反应 90 min。在最佳反应条件下重复 3 次试验,平均清除率为 $(46.5 \pm 2)\%$ 。

2.2 V_c 清除 $\cdot OH$ 反应动力学

2.2.1 水杨酸捕捉 $\cdot OH$ 标准曲线 按比例分别取 2.40、4.80、7.20、9.60、12.00 mmol/L 的水杨酸 0.5 mL, 0.18、0.36、0.54、0.72、0.90 mol/L 的 $FeSO_4$ 0.50 mL, 向其中加入 3.60、7.20、10.80、14.40、

18.00 mmol/L 的 H_2O_2 1 mL,反应液在 42 ℃ 反应 90 min,在 5000 r/min 下离心 10 min,取上清液稀释至 10 mL,在 510 nm 处,测其吸光度,结果如图 4 所示。得标准曲线的回归方程为 $y = 1.3318x + 0.0298$, $R^2 = 0.9925$ 。

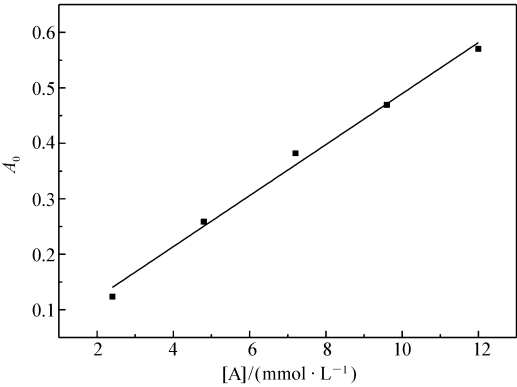


图 4 水杨酸捕捉羟基自由基的标准曲线

Fig.4 Standard curve of hydroxybenzoic acid capture $\cdot\text{OH}$

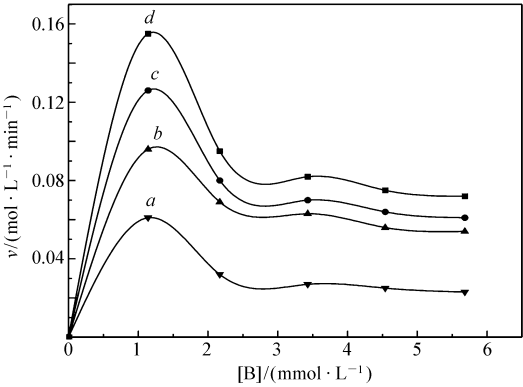


图5 不同浓度的 V_c 与反应速率之间的关系

Fig.5 Relationship between reaction rate and ascorbic acid concentration

[A]/(mmol·L⁻¹):a.4.8; b.7.2; c.9.6; d.12

2.2.2 反应动力学模型建立 由 Dalziel 方程可以知道,双底物方程中存在两个自变量[A]和[B],实验固定[A] 的浓度 (4.80、7.20、9.60 和 12.00 mmol/L), 改变[B] 浓度 (1.14、2.17、3.41、4.54、5.68 mmol/L)在 42 ℃ 反应 90 min。反应液在 5000 r/min 下离心 10 min,取上清液稀释至 10 mL 在 510 nm处,测其吸光度,按照标准曲线的回归方程换算生成产物的浓度,计算反应速率,可得到反应速率和 V_c 浓度之间的关系,结果图 5 所示。从图 5 可以看出,随着[B]浓度的增加,反应速率经历了一个由增到减的过程。

以 $[C]/v \sim 1/[B]$ 作图进行线性拟合,可得到 4 个拟合曲线,结果如图 6 所示。以截距 $\sim 1/[A]$ 作图结果如图 7 所示,斜率 $\sim 1/[A]$ 作图结果如图 8 所示。

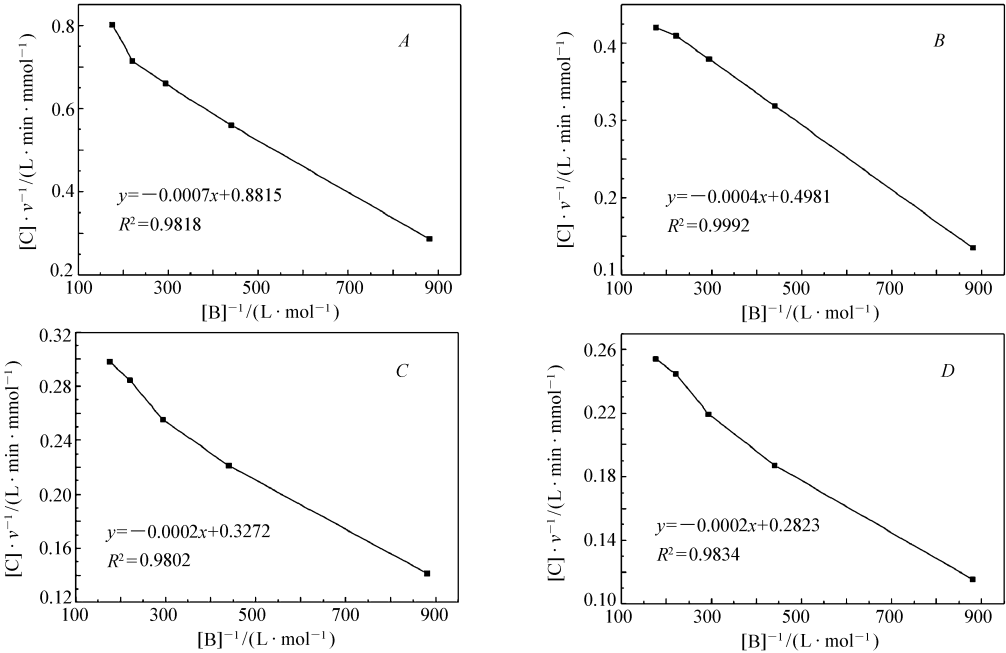


图 6 $[C]/v \sim 1/[B]$ 拟合图

Fig.6 Plot for $[C]/v \sim 1/[B]$

[A]/(mmol·L⁻¹):A.4.8; B.7.2; C.9.6; D.12

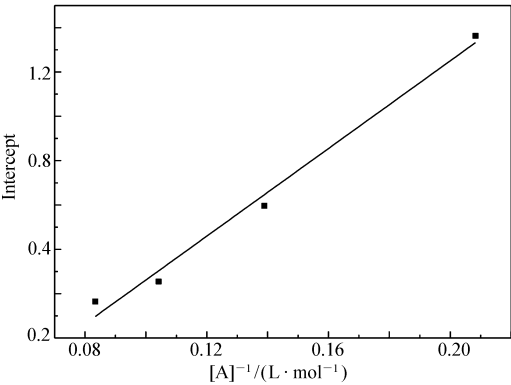


图 7 截距 $\sim 1/[A]$ 作图
Fig. 7 Plot for Intercept to $1/[A]$

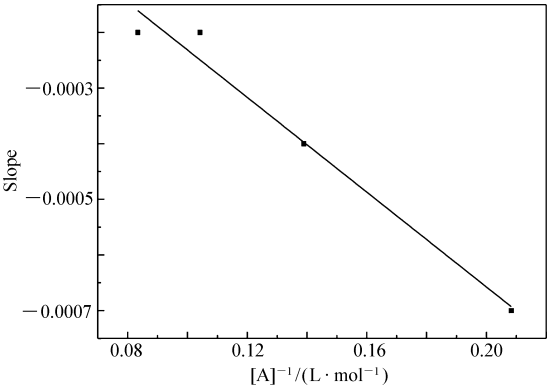


图 8 斜率 $\sim 1/[A]$ 作图
Fig. 8 Plot for slope to $1/[A]$

根据图 7 和图 8 可得到 ϕ_A 、 ϕ_B 、 ϕ_0 、 ϕ_{AB} ，代入式(4)可得 $v_{\max}$ 、 K_m^A 、 K_m^B 、 K_s^A 结果如表 1 所示，水杨酸和

表 1 V_c 与水杨酸竞争清除羟基自由基动力学参数

Constant	$v_{\max}/(\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$	$K_m^A/(\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1})$	$K_m^B/(\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1})$	$K_s^A/(\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1})$
Value	0.11	30.2	0.001 2	21.5

V_c 的特征常数分别为 30.2 和 1.2×10^{-3} mmol/L。由于 $K_m^A\gg K_m^B$ ，表明和水杨酸比较， V_c 具有较强的清除自由基的能力^[24]。将各动力学参数代入式(2)得到本实验的 Alberty 方程。

2.3 动力学模型验证

固定 $[A]$ 的浓度 (12 mmol/L)，改变 $[B]$ 浓度 (1.14、2.17、3.41、4.54、5.68 mmol/L) 测定抗氧化反应速率，按照拟合的 Alberty 公式计算不同 V_c 浓度下的抗氧化速率，结果图 9 所示。由图 9 可以看出，双底物模型可以很好的预测初始反应速率。实验测得反应速率和按公式计算的理论值相比较，结果非常接近，相对误差在 1.66% ~ 5.40%。表明模拟的反应动力学方程是可行的，可以利用 Fenton 反应和拟合的 Alberty 方程有效地考察 V_c 清除 $\cdot\text{OH}$ 的能力。

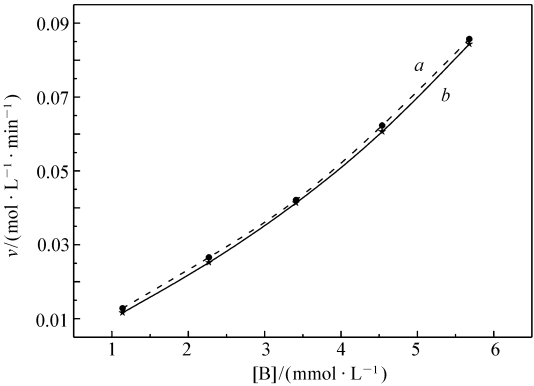


图 9 实验值和理论值结果
Fig. 9 Comparison of experimental values (a) and theoretical values (b)

3 结 论

通过 Fenton 反应考察了 V_c 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除作用，得到了其最佳反应条件，当 V_c 用量为 4.54 mmol/L、水杨酸为 12 mmol/L、 FeSO_4 为 0.9 mol/L、 H_2O_2 为 18 mmol/L，在 42 ℃ 的温度下反应 90 min 时 V_c 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率最大可达 $(46.5\pm 2)\%$ 。并在最佳反应条件下利用双底物反应类型拟合了动力学方程，通过比较实验值和理论值可得出，拟合的 Alberty 方程可以很好的预测 V_c 对 $\cdot\text{OH}$ 清除作用。

参 考 文 献

[1] Halliwell B, Gutteridge J M C. Free Radicals in Biology and Medicine[M]. Oxford: Clarendon Press, 1989: 110.
[2] Vasquez J, Kalyanaram B, Kennedy M C. Mitochondrial Aconitase is a Source of Hydroxyl Radical: An Electronspin Resonance Investigation[J]. J Biol Chem, 2000, 275(19): 14064-14069.
[3] Harman D. Free Radicals in Molecular Biology, Aging and Disease[M]. New York: Raven Press, 1984: 1-12.

- [4] CHU Gaosheng, ZHANG Manwei, ZHANG Zhicheng, *et al.* Pulse Radiolytic Study on Mechanism of the $\cdot\text{OH}$ Radical Induced Oxidation of Phosphorylmethionine in Aqueous Solution[J]. *Acta Chim Sin*, 1997, **55**:703-709 (in Chinese).
储高升, 张曼维, 张志成, 等. $\cdot\text{OH}$ 诱导氧化磷酸化甲硫氨酸机理的脉冲辐解研究[J]. 化学学报, 1997, **55**:703-709.
- [5] Abe Y, Qkaga S, Nakao R. A Molecular Orbital Study on the Reactivity of L-Ascorbic Acid Towards OH Radical[J]. *Chem Soc (Perkin Trans II)*, 1992, **23**(3):2221.
- [6] Talaulikar V S, Manyonda I T. Vitamin C as an Antioxidant Supplement in Women's Health; A Myth in need of Urgent Burial[J]. *Eur J Obstet Gynec R B*, 2011, **157**(1):10-13.
- [7] LIU Youcheng, WU Longmin, LIU Zhongli, *et al.* Studies on Nitroxidies XIII A Kinetic ESR Study on the Oxidation of Ascorbic Acid by a Nitroxide[J]. *Acta Chim Sin*, 1985, **43**:699-674 (in Chinese).
刘有成, 吴隆民, 刘中立, 等. 氮氧自由基对维生素 C 氧化反应的动力学 ESR 研究[J]. 化工学报, 1985, **43**:699-674.
- [8] Kubo I, Masuoka N, Ha T J, *et al.* Antioxidant Activity of Anacardic Acids[J]. *Food Chem*, 2006, **99**(3):555-562.
- [9] Suttor H C, Winterbourn C C. On the Participation of Higheroxidation States of Iron and Copper in Fenton Reactions[J]. *Free Rad Biol Med*, 1989, **6**(1):53-60.
- [10] QI Peishi, ZHAO Junjie, LIU Yunzhi, *et al.* Kinetics of Advanced Treatment of High-viscosity Petrochemical Wastewater with Oxidation by Fenton's Reagent[J]. *CIESC J*, 2011, **62**(2):490-494 (in Chinese).
祁佩时, 赵俊杰, 刘云芝, 等. Fenton 试剂深度处理稠油石化废水的反应动力学[J]. 化工学报, 2011, **62**(2):490-494.
- [11] Tang B, Zhang L, Geng Y. Determination of the Antioxidant Capacity of Different Food Natural Products with a New Developed Flow Injection Spectrofluorimetry Detecting Hydroxyl Radicals[J]. *Talanta*, 2005, **65**:769-775.
- [12] Oliva-Teles M T, Paíga P, Deleruematos C M, *et al.* Determination of Free Formaldehyde in Foundry Resins Its 2,4-Dinitrophenylhydrazine by Liquid Chromatography[J]. *Anal Chim Acta*, 2002, **467**:97-103.
- [13] Caillet S, Yu H, Lessard S, *et al.* Fenton Reaction Applied for Screening Natural Antioxidants[J]. *Food Chem*, 2007, **100**(2):542-552.
- [14] MA Yong, SHAO Lixin. Study on Hydroxy Free Radical Scavenging Effect of Ginseng Flowers Extract[J]. *Food Sci*, 2008, **29**(10):101-104 (in Chinese).
马勇, 邵立新. 人参花蕾提取液清除羟基自由基作用研究[J]. 食品科学, 2008, **29**(10):101-104.
- [15] MA Janhua. Study on the Scavenger Activities of Methyl Salicylate Against Hydroxyl Radical[J]. *Chemistry*, 2006, (3):228-230 (in Chinese).
马建华. 水杨酸甲酯清除羟基自由基活性的研究[J]. 化学通报, 2006, (3):228-230.
- [16] LI Xiaoyan, LIU Zhihong, CAI Ruxiu. A Study on Scavenging Activity of Melanin to Hydroxyl Free Radicals[J]. *J Sichuan Univ*, 2003, **40**(6):1132-1136 (in Chinese).
李晓燕, 刘志洪, 蔡汝秀. 黑色素对羟基自由基清除活性的研究[J]. 四川大学学报, 2003, **40**(6):1132-1136.
- [17] SUN Hongkong, ZHANG Ze, CHEN Yanchun, *et al.* Kinetics of Oxidation and Analysis of Betulin[J]. *Chinese J Pharm Anal*, 2011, **31**(1):154-156 (in Chinese).
孙宏, 张泽, 陈艳春, 等. 白桦酯醇的氧化动力学性质及含量分析[J]. 药物分析杂志, 2011, **31**(1):154-156.
- [18] YU Hanying, YANG Qian, LI Lin. Characterization of 5-Enolpyruvylshikimate-3-phosphate Synthase from Sclerotinia Sclerotiorum[J]. *Chinese J Biochem Mol Biol*, 2006, **22**(4):301-307 (in Chinese).
于寒颖, 杨谦, 李琳. 核盘菌 5-烯醇丙酮酰莽草酸-3-磷酸合酶的酶学性质[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2006, **22**(4):301-307.
- [19] Wu S C, Shih S H, Liu H S. Dynamic Behavior of Double-substrate Interactive Model[J]. *J Chinese Inst Chem Eng*, 2007, **38**:107-115.
- [20] Marangoni A G. Enzyme Kinetics: A Modern Approach[M]. Beijing: Chemistry Ind Press, 2007:82.
- [21] Su D, You D, Ren X J, *et al.* Kinetics Study of a Selenium-Containing ScFv Catalytic Antibody That Mimics Glutathione Peroxidase[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2001, **285**(2):702-707.
- [22] LI Liping, LIU Danxia. Determination of Hydroxyl Free Radical Release in Damage of Rat Spinal Cord by Prostaglandin [J]. *Chinese J Chromatogr*, 1996, **14**(5):405-407 (in Chinese).
李立平, 柳丹侠. 高效液相色谱法测定大白鼠脊髓受到前列腺素损伤时羟基自由基的释放[J]. 色谱, 1996, **14**(5):405-407.
- [23] YAN Jun, GOU Xiaojun, ZOU Quanfu, *et al.* Determination of Hydroxyl Radical Generating from Fenton Reaction by Spectrophotometry[J]. *J Chengdu Univ (Nat Sci Edn)*, 2009, **28**(2):91-93 (in Chinese).
颜军, 苟小军, 邹全付, 等. 分光光度法测定 Fenton 反应产生的羟基自由基[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2009, **28**(2):91-93.
- [24] NIE Jianguo, WU Guoli, ZHANG Yishen, *et al.* Biochemistry[M]. Beijing: High Education Press, 1999:107-110 (in

Chinese).

聂建国, 吴国利, 张翼仲, 等. 生物化学简明教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 107-110.

Hydroxyl Radical Scavenging Activity and Kinetics of Vitamin C

LI Yan, GONG Shilei, CHE Ying, JIN Li'e, Yan Guolan*

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract For humanbeings, radicals scavenging plays an important role for maintaining the fundamental physiological and anti-ageing need. Comparison for competing scavenging ability of Vitamin C (V_C) with salicylic acid gives optimal scavenging condition for V_C . By fitting the Alberty equation, the maximum 46.23% clearance of $\cdot OH$ by V_C reached when V_C concentration is 4.54 mmol/L at 47 °C for 90 min, and the maximum reaction rate is 0.11 mmol/(L · min). The dissociation constant for salicylic acid and V_C is 30.2 mmol/L and 1.2×10^{-3} mmol/L, respectively. The experimental data are well-fitted with relative error of 1.66% ~ 5.40%. This is helpful for the effective and scientific usage of V_C .

Keywords hydroxyl radical; ascorbic acid; clearance rate; reaction kinetics

《应用化学》2015 年征订启事

《应用化学》创刊于 1983 年, 是经国家科委批准向国内、国外公开发行的学术性期刊。由中国科学院主管, 中国化学会和中国科学院长春应用化学研究所主办, 科学出版社出版。为中国科技核心期刊。

《应用化学》设有综合评述、研究论文、研究简报、研究快报栏目。出版周期短, 报道新成果快。

《应用化学》期刊被 14 家国内外重要检索机构、文摘收录。

《应用化学》面向科研单位、大专院校和化学化工领域的科研技术人员。

本刊承揽各类化学、化工材料、分析测试仪器及各类化学产品介绍和相关领域科技信息等广告业务。

《应用化学》投稿全部采用网上投稿方式(<http://yyhx.ciac.jl.cn> 点击“网上投稿”或“投稿注册”, 按照提示步骤操作)。

- 中国科学院主管, 中国化学会和中国科学院长春应用化学研究所主办。
- 多次获国家、省、部级奖励, 发行量大, 广告宣传效果好。
- 国内外公开发行, 月刊, 每月 10 日出版。
- 国内统一刊号 CN 22-1128/O6; 国际标准刊号 ISSN 1000-0518。
- 全国各地邮局订阅, 国内邮发代号 8-184; 每册定价 30.00 元, 全年定价 360 元
- 广告经营许可证号: 吉工商广字 206 号
- 中国国际图书贸易总公司办理国外订阅(国外发行代号 M809)
- 如未能在邮局订阅, 可与编辑部联系订阅。

《应用化学》编辑部地址: 吉林省长春市人民大街 5625 号 邮编: 130022

电话: 0431-85262016, 85262330 传真: 0431-85685653 E-mail: yyhx@ciac.ac.cn 网址: <http://yyhx.ciac.jl.cn>

Received 2014-12-15; Revised 2015-01-26; Accepted 2015-04-16

Supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 51174144)

Corresponding author: YAN Guolan, professor; Tel/Fax: 0351-6014476; E-mail: lejin2003@163.com; Research interests: evaluation of food additives