

# 催化动力学光度法对食品中痕量元素 分析的研究进展

王平<sup>1,2</sup>, 乔壮明<sup>3</sup>, 张勇<sup>1</sup>, 李超<sup>1</sup>, 魏东<sup>1</sup>, 姚振兴<sup>1</sup>, 魏琴<sup>1</sup>

(1. 济南大学 化学化工学院, 山东 济南 25002;

2; 济南市长清区环境保护局, 山东 济南 250300; 3. 山东美泉环保科技有限公司, 山东 济南 250032)

**摘要:** 随着人们生活水平的不断提高, 食品中痕量元素的含量越来越引起人们的关注. 综述了近十年来催化动力学光度法在食品分析中对痕量元素进行测定的研究情况, 并对催化动力学光度法在食品分析中的应用前景和研究方向进行了展望.

**关键词:** 催化光度法; 动力学; 食品分析; 痕量测定

**中图分类号:** O657.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-3757(2010)03-0141-05

众所周知, 人体是由 60 多种元素所组成. 根据元素在人体内的含量不同, 可分为宏量元素和微量元素两大类. 凡是占人体总重量的 0.01% 以上的元素, 如碳、氢、氧、氮、钙、磷、镁、钠等, 称为宏量元素; 凡是占人体总重量的 0.01% 以下的元素, 如铁、锌、铜、锰、铬、硒、钼、钴、氟等, 称为微量元素. 微量元素在人体内的含量真是微乎其微, 但却与人的生存和健康息息相关. 它们的摄入过量、不足、或缺乏都会不同程度地引起人体生理的异常或发生疾病<sup>[1-2]</sup>. 随着人们生活水平的不断提高, 越来越多的人注意对人体必需的微量元素的日常摄入.

人体所需要的各种元素都是从食物中得到补充, 食品中的微量元素含量也越来越引起人们的关注, 因此对食品中的微量元素, 如锌、钴、钒、铬、铜、铁等的高灵敏度测定研究也日益增多, 其中痕量测定方法以催化动力学光度法的研究较多. 在以往中也曾有人报道过催化动力学光度法在食品添加剂测定中的研究进展<sup>[3]</sup>, 但对催化动力学光度法测定食品中痕量元素的研究综述却没有. 本文对近十年来催化动力学光度法测定食品中痕量元素研究文献进

行综合阐述(对于 2000 年之前的文献报道本文不再归纳), 并对催化动力学光度法在食品分析中的应用前景和研究方向进行了展望.

## 1 催化动力学光度法简述

催化动力学分析被广泛应用于痕量元素的定量测定, 其特点是灵敏度高(10~12 g/mL), 设备简单, 因此在高纯物质、高纯材料、生物样品和环境样品中痕量物质的分析研究中极为常见. 催化动力学光度法是以测量反应物浓度与反应速率之间的定量关系为基础, 用分光光度计、荧光光度计等作为检测手段的一种动力学分析法. 它与传统的热力学方法不同, 不等反应平衡便可进行测定, 因而扩大了可利用的化学反应范围, 克服了经典光度法的弱点, 使光度法有了新的发展. 它不仅是一种重要的定量分析方法, 而且还是一种研究催化与动力学反应机理的重要工具之一<sup>[4-5]</sup>.

与热力学方法相比, 动力学方法具有下述优点: ①反应选择性较好, 适于混合物中性质十分相似组分的同时测定(如有机化合物中的异构体和同系

收稿日期: 2010-04-26; 修订日期: 2010-05-31.

**基金项目:** 国家自然科学基金(21075052)、山东省自然科学基金(Y2008B44)、山东省重点学科基金项目(XTD0705)、济南市科技发展项目(201004015)、山东省科技攻关计划项目(2010GSF10628).

**作者简介:** 王平(1978-), 女, 硕士, 主要从事分析化学的研究工作. e-mail: wangping090911@163.com

**通讯作者:** 魏琴, 女, 教授, Tel: 0531-82765730, e-mail: chm\_weiq@ujn.edu.cn

物);②催化动力学分析法灵敏度高;③扩大了可利用的化学反应范围,因为此方法并不要求反应完全,只需测定反应起始阶段的数据即可;④由于动力学分析法是以时间为变量的,便于计算机与分析仪器的联机使用,容易实现流程控制、样品检测、数据采集和处理的自动化<sup>[6-7]</sup>。

## 2 催化动力学光度法对食品中痕量元素的测定

微量元素与人体健康的关系越来越引起人们的关注,因此食品中的微量元素的测定有广泛的意义。

目前常用于食品中微量元素的检测方法有物理法、化学法及生物法<sup>[8]</sup>,其中尤以催化动力学光度法测定食品中的痕量元素应用较广。对此方面的文献总结如表 1 所示。

## 3 催化动力学光度法对食品添加剂的痕量测定

随着食品添加剂在日常生活中的广泛使用,对食品添加剂中所含的微量甚至痕量的有毒成分的测定也就越来越重要。有关食品添加剂检测的报道较多,较经典的有色谱法、分光光度法等,催化动力学法因

表 1 催化动力学光度法对食品中痕量元素的测定<sup>[9-23]</sup>

Table 1 Trace elements in food determined by catalytic kinetic spectrophotometry

体系	介质	检出限(ng/mL)	线性范围(ng/mL)	应用样品分析	文献号
过氧化氢-茜素绿-铁(Fe)	HAc-NaAc(pH4.2)	$20.4 \times 10^{-3}$	2~40, 40~900	面粉、河水	[9]
过氧化氢-茜素红-铁(Fe)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.1 mol/L)	2.0	0~280	面粉、大米	[10]
过硫酸钾-靛蓝胭脂红-锌(Zn)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.01 mol/L)	41.8	10~1400	黄豆、豌豆、奶粉	[11]
过氧化氢-溴甲酚绿-锌(Zn)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.001 mol/L)	$56 \times 10^{-3}$	0.10~6.0	奶粉、火腿、牛肉	[12]
次磷酸钠-偶氮胂 I-钒(V)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.02 mol/L)	52	0~4.0	大米、茶叶、面粉	[13]
溴酸钾-吡啶橙和 酸性铬蓝 K-钒(V)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.01 mol/L)	$88 \times 10^{-3}$	0.40~30	面粉、大米	[14]
抗坏血酸-邻甲氧基苯基 重氮氨基偶氮苯-铜(Cu)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.05~0.09 mol/L)	0.66	0~28	花生、奶粉、鸡蛋、茶叶	[15]
过氧化氢-甲基橙-铜(Cu)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.1 mol/L)	$0.176 \times 10^{-3}$	0~40	豆奶粉、红茶、橙汁	[16]
过氧化氢-甲基紫-铜(Cu)	HNO <sub>3</sub> (0.1 mol/L)	1.79	0~60	花生、奶粉、玉米粉	[17]
过氧化氢-甲基蓝-铜(Cu)	HCL(0.1 mol/L)	1.92	0~30	梨、奶粉、方便面	[18]
过氧化氢-罗丹明 B-铬 VI(Cr)	HAc-NaAc(pH4.8)	85.8	80~400	猪肝	[19]
溴酸钾-次甲基蓝-硒 IV(Se)	HCL(1.0 mol/L)	0.125	0~20	牛乳、大蒜、黑木耳	[20]
溴酸钾-甲基橙-硒(Se)	HNO <sub>3</sub> (0.025 mol/L)			花茶、绿茶、人参	[21]
碘酸钠-偶氮胂 M-碘(I)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (3.0 mol/L)	$0.4 \times 10^{-3}$	0.4~80	生物类食品	[22]
过氧化氢-甲基红-碘(I)	HAc-NaAc(pH4.0)	0.088	0~400	粗盐、碘盐、海带	[23]

表 2 催化动力学光度法对食品添加剂的痕量测定<sup>[24-41]</sup>

Table 2 Trace additives in food determined by catalytic kinetic spectrophotometry

体系	介质	检出限/ (ng/mL)	线性范围 /(ng/mL)	应用样品分析	文献号
高碘酸钾-酚藏花红-亚硝酸根(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.35 mol/L)	16	120~1220	雪里红、大头菜、火腿肠	[24]
溴酸钾-吡啶红 B-亚硝酸根(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (0.30 mol/L)	4	5~150	菠菜、芹菜、土豆、 雨水、洋葱	[25]
溴酸钾-甲基紫-亚硝酸根(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (0.1 mol/L)	0.76	800~8.0 × 10 <sup>4</sup>	火腿肠、午餐肉	[26]
溴酸钾-水杨基荧光酮-亚硝酸根(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.0125 mol/L)	1.6	4~20	明矾	[27]
溴酸钾-甲基蓝-亚硝酸根(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (1.48 mol/L)		200~1200	肉制品、白菜	[28]
溴酸钾-吡啶红 B-甲醛(HCHO)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.2 mol/L)	8.6	16~140	腐竹、虾仁	[29]
溴酸钾-中性红-甲醛(HCHO)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.0 mol/L)	4.08	0~40	腐竹、粉丝	[30]
溴酸钾-甲基橙-甲醛(HCHO)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.0 mol/L)	12.2	14~140	水发虾仁、牛百叶	[31-32]

表2 催化动力学光度法对食品添加剂的痕量测定<sup>[24-41]</sup>(续)

Table 2 Trace additives in food determined by catalytic kinetic spectrophotometry (continued)

体系	介质	检出限/ (ng/mL)	线性范围 /(ng/mL)	应用样品分析	文献号
氯酸钾-罗丹明6G-甲醛(HCHO)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (3.0 mol/L)	0.15	20~1800	东昌湖水、饮料、漆料	[33]
高碘酸钾-甲基红-甲醛(HCHO)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (2.0 mol/L)	0.04	0.225~13.5	腐竹	[34]
溴酸钾-碱性品红-甲醛(HCHO)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1.0 mol/L)	15	80~1000	水发虾仁、腐竹	[35]
溴酸钾-天青I-甲醛(HCHO)	HCl(0.1 mol/L)		200~6000	饮料、河水	[36]
溴酸钾-偶氮胂III-甲醛(HCHO)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (4.0 mol/L)	240	350~5700	挂面、桃汁、梨汁	[37]
溴酸钾-吡啶红Y-柠檬酸	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.05 mol/L)	0.60	100~4000	汽水、柠檬汁	[38]
过氧化氢-酚红-柠檬酸	HNO <sub>3</sub> (0.02 mol/L)	0.10	700~4000	汽水	[39]
过氧化氢-鲁米诺(Luminol)- 叔丁基茴香醚(BHA)	HCl(0.1 mol/L)	0.60	2.0~40000	茶叶	[40]
过氧化氢-鲁米诺(Luminol)- 2,6-二叔丁基对甲酚(BHT)		0.80	2.8~10000		
过氧化氢-茜素红-EDTA	NaB <sub>4</sub> O <sub>7</sub> -HCl(PH8.5)	2.2×10 <sup>-3</sup>	0~1000	罐头汁、板栗肉	[41]

灵敏度高、选择性好、快速简便、所需仪器设备简单等特点而应用广泛<sup>[3]</sup>。对此方面的文献总结如表2所示。

#### 4 催化动力学光度法在食品痕量测定中的应用前景展望

总的来说,由于催化动力学光度法具有操作简单、灵敏度高等特点,加上新的催化反应体系日益增多,近年来催化动力学光度法在痕量测定食品中微量成分中的技术发展很快。但也由以上综述可以看出,目前在食品痕量元素的测定上研究较多,但对于食品添加剂的研究仅局限于甲醛、亚硝酸根等的研究,还需研究新的催化反应体系,并于其他方法相结合,拓宽测定范围和提高测定灵敏度。

#### 参考文献:

- [1] L Lu, L Hamzaoui, B H Brown, *et al.* Morucci. Parametric modelling for electrical impedance spectroscopy system [J]. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 1996, 34 (2):15-18.
- [2] 陈强谱, 傅廷亮, 管清海. 人体组成学研究近况[J]. *滨州医学院学报*, 2006, 29(1): 5-10.
- [3] 张玲玲, 姚善卓. 催化动力学光度法对食品添加剂检测的研究进展[J]. *太原科技*, 2009, 12: 68-70.
- [4] Alexandra A R, Ioan S B, Dana D M. Kinetic determination of trace amounts of Cu (II) in water based on its catalytic effect on the reaction of mercaptosuccinic acid and Cr (VI) [J]. *Microchim Acta*, 2002, 140: 1-7.
- [5] Shigenori N, Keiko N, Kazunori N, *et al.* Catalytic flow-injection determination of Cu (II) at nanogram levels by using color formation of N-phenyl-p-phenylenediamine with m-phenylenediamine in the presence of pyridine and ammonia as activators [J]. *Talanta*, 1997, 44(5): 765-770.
- [6] 张勇, 李月云, 李超, 等. 催化动力学测定痕量钴研究综述[J]. *济南大学学报(自然科学版)*, 2004, 18(1): 19-23.
- [7] 李超, 张勇, 吴丹, 等. 催化动力学光度法测定痕量铜的研究进展[J]. *分析测试技术与仪器*, 2003, 9(4): 216-226.
- [8] 王晓丽, 夏栋, 陆利霞, 等. 食品中金属元素的检测方法[J]. *食品研究与开发*, 2007, 128(5): 114-118.
- [9] 倪秀珍, 王晓菊. 表面活性剂增敏催化动力学光度法测定食品中痕量铁[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(9):113-116.
- [10] 梁国柱, 等. 催化动力学光度法测定食品中痕量铁[J]. *南通职业大学学报*, 2004, 18(2): 77-78.
- [11] 黄湘源, 黄小兵, 朱敏, 等. 催化动力学分析法测定食品中的痕量锌[J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2006, 30(1): 36-39.
- [12] 俞洁敏, 傅晓航, 李成平. 催化动力学光度法测定食品中痕量锌的研究[J]. *食品科技*, 2008, 33(8): 200-202.
- [13] 王黎, 周之荣. 催化动力学光度法测定食品中的痕量钒[J]. *食品科学*, 2006, 27(3): 172-175.
- [14] 董彦. 双波长催化动力学光度法测定食品中痕量钒[J]. *中国卫生检验杂志*, 2007, 17(10): 1737-1

- 738.
- [15] 唐谦, 郭忠先, 马莉, 等. 催化动力学光度法测定食品中微量铜的研究[J]. 理化检验 - 化学分册, 2001, 37(4): 164 - 167.
- [16] 蔡湘雯, 张毅忠, 周岱, 等. 催化动力学光度法测定食品中的微量铜[J]. 广州化工, 2009, 37(4): 141 - 144.
- [17] 孙琳, 王玉宝, 郭振良, 等. 催化动力学光度法测定食品中痕量铜[J]. 理化检验 - 化学分册, 2006, 42(11): 955 - 956.
- [18] 应一红. 催化动力学褪色光度法测定痕量铜的研究及在食品中的应用[J]. 杭州师范学院学报(自然科学版), 2006, 5(2): 123 - 125.
- [19] 焦士蓉, 王玲. 催化动力学光度法测定食品中的微量铬(VI)[J]. 实验科学与技术, 2006, 4(2): 33 - 35.
- [20] 赖海涛, 白月. 采用次甲基蓝催化动力学光度法测定食品中的痕量硒(IV)[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(2): 102 - 105.
- [21] 董炳刚, 刘雨, 桑德民, 等. 催化动力学光度法测定食品中痕量硒[J]. 微量元素与健康研究, 2006, 23(4): 43 - 46.
- [22] 陈忠辉. 催化褪色动力学光度法测定食品中微量碘的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(10): 251 - 253.
- [23] 倪秀珍, 王晓菊. 溴代十六烷基吡啶增敏催化动力学光度法测定食品中痕量碘[J]. 食品科技, 2008, 33(5): 226 - 228.
- [24] 叶青, 郑大贵. 高碘酸钾氧化酚藏花红褪色催化动力学光度法测定食品中的痕量亚硝酸根[J]. 化学分析计量, 2004, 13(4): 21 - 23.
- [25] 张爱梅, 王术皓, 崔慧. 表面活性剂增敏催化光度法测定痕量亚硝酸盐[J]. 分析化学, 2001, 29(2): 202 - 204.
- [26] 胡卫平, 董学芝, 何志娟. 甲基紫电极催化动力学电位法测定亚硝酸根[J]. 分析化学, 2004, 32(6): 765 - 768.
- [27] 陶建中, 杨凤霞, 郝海玲, 等. 基于水杨基荧光酮的催化动力学荧光熄灭测定痕量亚硝酸根[J]. 理化检验, 2006, 42(11): 911 - 913.
- [28] 吴定, 路桂红, 刘长鹏, 等. 加速氧化甲基蓝测定食品中微量亚硝酸盐含量[J]. 食品科学, 2009, 30(16): 213 - 215.
- [29] 刘嘉坤, 陈兰化. 催化荧光动力学法测定食品中痕量甲醛[J]. 分析试验室, 2006, 25(9): 78 - 80.
- [30] 黄湘源, 徐春秀. 催化动力学测定食品中痕量甲醛[J]. 南昌大学学报(理科版), 2003, 27(1): 78 - 80, 84.
- [31] 王小波, 李国强, 孟建新. 甲基橙 - 溴酸钾体系催化光度法测定微量甲醛[J]. 分析科学学报, 2004, 20(3): 335 - 336.
- [32] 李国强, 王小波, 孟建新. 甲基橙 - 溴酸钾体系催化动力学光度法测定微量甲醛[J]. 光谱实验室, 2005, 22(1): 30 - 33.
- [33] 田林芹, 张爱梅, 翟继英. 动力学光度法测定痕量甲醛[J]. 分析试验室, 2004, 23(2): 63 - 65.
- [34] 周福林, 宋少飞, 张稳婵, 等. 催化动力学光度法测定腐竹中的痕量甲醛[J]. 食品科学, 2009, 30(10): 191 - 194.
- [35] 孔继川, 缪娟, 张会菊, 等. 动力学光度法测定食品中痕量甲醛[J]. 分析科学学报, 2009, 25(2): 205 - 207.
- [36] 方夏, 黄余改, 李玲玲, 等. 溴酸钾 - 天青 I 体系催化动力学光度法测定饮料中的痕量甲醛[J]. 食品科学, 2009, 30(6): 199 - 202.
- [37] 姜洪波. 痕量甲醛催化动力学光度法的测定与研究[J]. 中国科技信息, 2006(6): 316.
- [38] 陈兰化, 管明霞. 动力学荧光猝灭法测定柠檬酸的研究[J]. 分析试验室, 2005, 24(2): 19 - 21.
- [39] 叶青. 阻抑催化动力学光度法测定柠檬酸[J]. 食品工业科技, 2006(3): 179 - 180.
- [40] 卢利军, 李红玫. 流动注射化学发光法测定食品中叔丁基茴香醚与 2, 6 - 二叔丁基对甲酚[J]. 理化检验, 2004(40): 37 - 40.
- [41] 陈伟. 阻抑动力学光度法间接测定痕量 EDTA[J]. 分析试验室, 2006, 25(1): 87 - 89.

## Review of Study on Catalytic Kinetic Spectrophotometric Determination of Trace Elements in Food

WANG Ping<sup>1,2</sup>, QIAO Zhuang - ming<sup>3</sup>, ZHANG Yong<sup>1</sup>, LI Chao<sup>1</sup>,  
WEI Dong<sup>1</sup>, YAO Zhen - xing<sup>1</sup>, WEI Qin<sup>1</sup>

(1. School of Chemistry & Chemical Engineering, University of Jinan, Jinan 250022, China;

2. Environmental Protection Bureau in Changqing District of Jinan, Jinan 250300, China;

3. Shan Dong Mei Quan Environmental projects Co. , Ltd. Jinan 250032, China)

**Abstract:** With the continuous rise of the people's living standard, much attention has been paid to the content of trace elements in food. A review of the progress in the determination of trace amount of element in food using a catalytic kinetic spectrophotometric method for the recent ten years is presented and discussed in this paper, and the application prospect and research orientation of food analysis using the catalytic kinetic spectrophotometric method are also described.

**Key words:** catalytic spectrophotometry; kinetic; food analysis; determination of trace amount

**Classifying number:** O657.3

