

聚碳酸酯中双酚 A 的毒性及迁移规律研究进展

金岭, 董文丽, 孙智慧

(哈尔滨商业大学, 哈尔滨 150028)

摘要:介绍了双酚 A 的理化性质和毒性,分析了食品包装材料中双酚 A 对食品安全的影响及对人体健康的危害性,综述了聚碳酸酯中双酚 A 的迁移机理,以及时间、温度、酸碱度等因素对迁移规律的影响。

关键词:聚碳酸酯; 双酚 A; 迁移; 有害物质; 影响因素

中图分类号: TB487; TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)09-0112-05

Research Progress of Toxicity and Migration Rule of Bisphenol A in Polycarbonate

JIN Ling, DONG Wen-li, SUN Zhi-hui

(Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: The physical and chemical properties and toxicity of bisphenol A was introduced. The influence of bisphenol A in food packaging materials on food safety and harm to human body health was analyzed. The migration mechanism and the influence of time, temperature and pH value on migration rule of bisphenol A in polycarbonate was summarized.

Key words: polycarbonate; bisphenol A; migration; harmful substance; influencing factor

食品安全一直是社会关注的热点,但人们对食品安全性的关注往往只局限于食品本身,而忽略了包装材料的安全性,实际上与食品直接接触的各类包装材料的原料、辅料、添加剂和加工工艺的安全性都直接关系到食品的安全性。食品包装材料中未聚合的游离单体、低聚物、降解产物、添加剂、功能性助剂在适宜的条件下都可能向内装物食品中迁移^[1-3],使食品受到污染,从而危害人体健康。针对包装材料中有害物质迁移导致的食物安全隐患问题,很多国家都制定了相应的食品包装卫生法规,限制有毒有害包装材料的使用范围^[4-5]。聚合物包装材料中有害物质的迁移也成为食品和包装领域研究的热点。

在包装材料中,聚碳酸酯(PC)因其具有良好的透明性、耐热性、耐高温性、耐冲击力及轻巧耐用等特点,被广泛应用于制造婴儿奶瓶、太空杯、塑料餐具及饮料瓶、饮用水桶等容器。聚碳酸酯是由单体双酚 A (BPA)与碳酸二苯酯或双酚 A 与光气(二氯化碳酰)在氢氧化钠的催化下合成的高分子聚合物。因不完全化学反应,尚未反应的双酚 A 单体就会存在于聚碳

酸酯的成型品中。由于其成型品的材质、盛装的内容物种类以及所处的使用环境等的差异性,双酚 A 向食品中的迁移也存在着较大差异,给消费者带来的危害程度也不尽相同。文中从迁移机理的角度出发,综述聚碳酸酯中双酚 A 的迁移机理、迁移特性及环境因素对其迁移的影响。

1 双酚 A 的物性

1.1 双酚 A 的理化性质

双酚 A,学名 2,2-二(4-羟基苯基)丙烷,简称二酚基丙烷,白色晶体,具有可燃性,微带苯酚气味^[6],是一种重要的有机化工原料,是苯酚和丙酮的重要衍生物。其熔点为 156 ~ 158 ℃,沸点为 250 ~ 252 ℃,闪点为 79.4 ℃,相对密度为 1.195(25 ℃)。溶于乙醇、乙醚、丙酮、苯及稀碱液,微溶于二氯甲烷、甲苯,不溶于水。双酚 A 为主要原料合成制造的塑料树脂被广泛应用于罐装食品容器的衬里和饮料的包装、奶瓶、水瓶等食品容器中^[7]。

收稿日期: 2013-01-22

作者简介: 金岭(1988-),女,黑龙江人,哈尔滨商业大学硕士生,主攻食品包装材料的安全性研究。

1.2 双酚 A 的毒性

双酚 A 是低毒性化学物质,是包装材料中的“环境内分泌干扰物”,双酚 A 及其环氧衍生物可以通过食品包装容器和塑料薄膜渗入到内装物中^[8]。医学研究表明,双酚 A 是一种类雌激素,破坏荷尔蒙的正常分泌与调节机制。刺激哺乳动物的皮肤、呼吸系统、消化系统和眼角膜,伤害雌性哺乳动物的乳房、子宫、阴道和卵巢,导致其形态及功能异常,表现出肌肤恶化、肥胖、不孕等症状^[9-13]。流行病学在研究疾病的影响因素时发现,当人体中游离的双酚 A 质量浓度为 $0.3 \times 10^3 \sim 0.4 \times 10^3$ ng/L 时,人体会表现出内分泌失调的症状^[14]。

1.3 各国对双酚 A 的使用限制

近年来,很多国家和地区都发布了关于食品包装、食品接触材料、食品容器及器皿中限制使用双酚 A 的法律法规。

2008 年 10 月,加拿大政府禁止在其国内进口、生产和销售含双酚 A 的婴儿用瓶,成为第一个在儿童用品中全面禁止双酚 A 使用的国家^[15]。加拿大卫生部规定双酚 A 摄入量为每日每千克体重 25 μg 。美国环境保护署(EPA)1993 规定最大可接受的双酚 A 参考剂量为 0.05 mg/kg。2009 年 4 月,美国纽约长岛萨福克郡法规定严禁出售供 3 岁及以下儿童使用的含有双酚 A 的婴儿奶瓶和吸管杯。欧盟颁布的《关于某些环氧衍生物在食品包装中的使用》中规定了其成员国禁止生产含有双酚 A 的食品包装用粘合剂和食品包装罐内涂料,同时禁止含有双酚 A 成分的包装制品进口到欧盟市场,该指令从 2005 年 12 月 31 日起生效^[16-17]。欧盟从 2011 年 3 月 1 日起全面禁止企业生产含双酚 A 的塑料瓶^[18]。同时,欧盟针对与食品有关的塑料材料及物品发出指令:双酚 A 向食品或食品模拟物中的迁移量从原来的 2002/72/EC 法则规定的 3 mg/kg 降到 0.6 mg/kg。日本国内的《食品卫生法》规定:聚碳酸酯食品容器中,双酚 A 的溶出限量为 2.5 mg/kg。

目前,我国对聚碳酸酯类容器使用的限制主要依据卫生部 1994 年颁布的《食品容器、包装材料用聚碳酸酯成型品卫生标准》,规定聚碳酸酯成型品中双酚 A 的溶出量不大于 0.05 mg/kg。但尚未出台双酚 A 及其环氧衍生物的相应卫生标准^[19-20],没有相应系统性的法律法规,将制约我国食品 and 食品包装材料的出口。

2 聚碳酸酯中双酚 A 的迁移研究

就食品包装材料而言,迁移是指包装材料中的低分子量化合物(如单体、低聚物、添加剂、助剂、分解产物等)与食品接触过程中向内表面扩散,并被食品溶解的过程。从而理论上讲,迁移是一个扩散与平衡的过程,即低分子量化合物从包装材料中向内装物食品中的释放、转移的传递过程。描述了小分子渗透物质通过聚合物的无定形区向包装-食品系统界面扩散,直至聚合物和食品两者的化学位势相等达到平衡的全部行程。在实际迁移过程中,还要考虑外界环境条件及包装材料润胀等所带来的影响^[21]。

2.1 双酚 A 迁移机理研究

双酚 A 的迁移机理可分为以下 2 个过程。

1)物理性迁移过程。即在聚碳酸酯合成过程中残留的双酚 A 单体由容器向内容物的扩散过程。在高聚物内部,小分子物质的扩散由聚合物的聚集状态决定,其主要是通过高聚物链段间的空隙来进行迁移的。高聚物分子链以折迭链的形式排列,根据排列形态分为结晶区和非结晶区。其中,结晶区的分子链排列规则,非结晶区的分子链排列无规则,结构较为松散。通常,研究小分子物质的迁移只考虑聚合物非结晶区的扩散。但随着温度等外界条件的改变,高聚物分子链段的形态、结晶区及非结晶区的聚集形态等都会发生变化。

2)化学性迁移过程。即聚碳酸酯的降解。例如,聚碳酸酯容器与液态内装物接触或容器在使用前的清洗、消毒,都会使聚碳酸酯容器表面水解释放双酚 A^[22];聚碳酸酯容器在与食品接触时,由于食品本身几乎都存在胺类,聚碳酸酯会在胺的作用下发生胺解,释放双酚 A^[23]。Joaquim Maia 等人将聚碳酸酯奶瓶剪碎后,将其分别放置在 120 $^{\circ}\text{C}$ 的不同浓度胺溶液和蒸馏水(做空白试验)中加热 1 h 后,取出冷却至室温,分别取 0.6 mL 萃取液进行 HPLC 分析,结果显示,MXDA,TMA,CHBMA,DBA 萃取液中双酚 A 的检出量分别是空白试验的 20.8,49.6,3853.0,5363.9 倍,证明了胺溶液中,双酚 A 的迁移是由聚碳酸酯高温胺解引起的,而不是小分子物质的扩散^[24]。

2.2 聚碳酸酯中双酚 A 迁移的影响因素

双酚 A 扩散和 PC 的降解都会影响双酚 A 向内装物的迁移。不同的温度、存储时间的长短以及 pH

值的大小等都会影响聚碳酸酯中双酚 A 向内容物的迁移程度。

2.2.1 时间对双酚 A 迁移的影响

P. Mercea 等人^[22]用相同 PC 材质的容器装入矿泉水,在 20 ℃ 下放置 240 d 后,定期检测发现,前 150 d 双酚 A 的迁移量基本呈线性变化,150 d 后双酚 A 的迁移量缓慢增长直至趋于稳定;Biles 等人^[25]将 PC 婴儿奶瓶放在装满 65 ℃ 水的玻璃瓶中持续 10 d,在不搅拌的情况下双酚 A 迁移量的平均值从第 5 天的 0.09 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 增加到第 10 天的 0.23 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$;Wong 等人^[25]将 PC 婴儿奶瓶放在装满 70 ℃ 水的玻璃瓶中持续 10 d,双酚 A 的迁移量呈线性增长趋势,其中最大迁移量为 0.30 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$;姚卫蓉等人^[26]在室温下将 PC 桶装饮用水密封存放 2 个月,用 HPLC-MS 法测定了桶装水中双酚 A 的迁移量为 1.27 mg/kg,已超过国家标准(0.05 mg/kg),到第 3 个月时,饮用水中双酚 A 的含量已经达到 1.46 mg/kg。将 PC 瓶灌装饮料在常温下存放 240 d 后,罐装饮料中双酚 A 从 0.01 ng/mL 增加到 0.078 ng/mL。王文枝等人^[27]将牛奶放置在 40 ℃ 下恒温 3 h 后,用 HPLC-MS 法测得双酚 A 的迁移量达到 0.0623 mg/kg,已超过国家标准(0.05 mg/kg),恒温 4 h 后,双酚 A 的迁移量达到 0.0738 mg/kg,继续试验发现,随保温时间的延长,双酚 A 迁移量增加并不明显。上述试验表明,储存时间对双酚 A 的迁移量有一定的影响,在一定时间范围内双酚 A 的迁出量随储存时间延长而增加。

2.2.2 温度对双酚 A 迁移的影响

温度会影响双酚 A 的迁移,根据 PC 容器的实际使用情况,依据欧盟食品接触法规《食品容器中特定物质浸泡迁移实验的条件》^[28-31],P. Mercea 等人^[22]将 PC 瓶分别在 20,40,60 ℃ 下放置 360 h,其间每隔 12 h 测试一次,用 HPLC 法测试后发现:在 20 ℃ 的情况下,随着时间的增加,双酚 A 的迁移量变化不大,而 40 ℃ 和 60 ℃ 时,双酚 A 的迁移量有明显变化,尤其是 60 ℃ 时,增长率较大,见图 1。Sung-Hyun Nam 等人^[32]研究发现当温度超过 80 ℃ 时双酚 A 的迁移量迅速增大,到 100 ℃ 时聚碳酸酯奶瓶中双酚 A 迁移量增加最为明显。唐熙等人^[33]将 PC 奶瓶在 25,40,100 ℃ 的水中分别恒温放置 1 h 后,用 GC 法测试其中双酚 A 的迁移量,结果分别为未检出、0.015 mg/kg 和 0.052 mg/kg,说明使用温度越高,PC 瓶中双酚 A 的迁移量越大,而常温下使用相对较为安全。

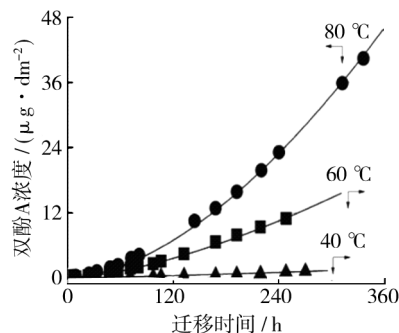


图1 不同温度下双酚 A 随时间的迁移趋势

Fig. 1 Time dependence of bisphenol A migration under different temperature

2.2.3 pH 值对双酚 A 迁移量的影响

pH 值的大小会影响 PC 奶瓶中双酚 A 的迁移。Joaquim Maia 等人^[34]研究发现:内容物的 pH 值 > 7 时,会加快聚碳酸酯的水解速率,促进双酚 A 的迁移,当内容物的 pH ≤ 5 时,会延缓 PC 瓶的老化,降低双酚 A 的迁移。

2.2.4 PC 容器重复使用时双酚 A 迁移的影响

多次重复使用过的 PC 容器会老化,从而促进双酚 A 的迁移。Sung-Hyun Nam 等人^[32]将装有水的全新聚碳酸酯婴儿奶瓶放置到水浴中,水浴的温度分别控制在 40,50,65,80,95 ℃,在 5 个温度条件下反复模拟重复使用奶瓶 100 次,结果 40 ℃ 条件下双酚 A 的迁移量从最初的 0.03×10^{-9} 增至 0.18×10^{-9} ;而 95 ℃ 条件下双酚 A 的迁移量从最初的 0.13×10^{-9} 增至 18.47×10^{-9} 。Joaquim Maia 等人^[34]将 PC 奶瓶用 TMA 处理后再用水漂洗,发现只有第一次用水漂洗后双酚 A 的迁移量增加,之后多次用水漂洗,双酚 A 的迁移量无明显变化。分析原因可能是 TMA 分子较小,进入 PC 分子链后残留其中,用水不易漂洗掉,而 TMA 残留在分子链中会持续促进 PC 降解,使双酚 A 迁移量并未随清洗次数的增加而明显降低。

3 结语

目前,对双酚 A 的迁移研究,已经在检测方法、迁移行为的影响因素等方面取得了很多成果,但要系统地了解双酚 A 的迁移行为及其与食品的相容性,还需要进行更深入的研究。首先,双酚 A 迁移的检测属痕量分析,对检测方法的精度要求极高,现有的检测方法主要采用各种色谱法及色谱-质谱联用技术。这些

检测技术虽然比较成熟,但仪器昂贵,操作复杂,对于检测样本数量较大或需要现场实时分析的情况不适用。而电化学方法分析速度快、准确度高,对微量和痕量分析非常适合,且设备简单、能够实现自动化连续分析。目前电化学方法用于包装容器中双酚 A 迁移检测的研究还很少,开展相关研究有助于为双酚 A 迁移分析提供更有针对性的检测技术。其次,实际使用过程中双酚 A 的迁移会受外界条件及复杂食品基质的协同作用,现有研究多局限于单一因素对双酚 A 的迁移影响,很难全面、准确地反映双酚 A 的迁移规律。此外,目前对双酚 A 的迁移机理尚未完全掌握。例如,聚碳酸酯在食品介质中产生水解、胺解等导致的双酚 A 迁移,包含了物理、化学两种迁移过程,迁移行为非常复杂,迁移机理还有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 张伟,霍斌. 食品包装存在安全隐患与对策[J]. 中国包装工业,2007,24(3):26-27.
ZHANG Wei, HUO Bin. Potential Risk and Countermeasure of Food Packaging[J]. China Packaging Industry, 2007, 24(3):26-27.
- [2] 王志伟,孙斌青,刘志刚. 包装材料化学物迁移研究[J]. 包装工程,2004,25(5):1-4.
WANG Zhi-wei, SUN Bin-qing, LIU Zhi-gang. Migration Studies of Chemical in Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(5):1-4.
- [3] 姚卫蓉. 食品包装污染物研究进展[J]. 现代食品科技, 2005, 21(1):150-153.
YAO Wei-rong. The Research Progress of Food Packaging Pollutants[J]. Modern Food Science and Technology, 2005, 21(1):150-153.
- [4] 颜亦斌. 食品包装与食品安全[J]. 包装与食品机械, 2004, 22(2):50-52.
YAN Yi-bin. Food Packaging and Food Safety[J]. Packaging and Food Machinery, 2004, 22(2):50-52.
- [5] 张双灵,赵奎浩,郭康权,等. 食品包装化学物迁移研究的状况与对策分析[J]. 食品工业科技,2007,28(9):169-72.
ZHANG Shuang-ling, ZHAO Kui-hao, GUO Kang-quan, et al. Migration Research Status and Countermeasure Analysis of Food Packaging Chemical[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 28(9):169-172.
- [6] 陈咏梅. 高分子基础[M]. 北京:科学出版社,2009.
CHEN Yong-mei. Polymer Base [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [7] 张彦丽,任佳丽,李忠海,等. 食品包装材料中双酚 A 的研究进展[J]. 食品与机械,2011,27(1):155-157.
ZHANG Yan-li, REN Jia-li, LI Zhong-hai, et al. The Research Progress of Bisphenol A in Food Packaging Materials [J]. Packaging and Machinery, 2011, 27(1):155-157.
- [8] 王佳,詹平. 双酚 A 对机体的影响及其机制的研究进展[J]. 预防医学情报杂志,2005,21(5):541-544.
WANG Jia, ZHAN Ping. The Research Progress of Influence of Bisphenol A on Organism and its Mechanism[J]. Journal of Preventive Medicine Information, 2005, 21(5):541-544.
- [9] 河村叶子. 双酚 A 对人体机能的影响[J]. 食品卫生学杂志(日),1998,39(3):206.
HE-CUN Ye. Bisphenol A to the Influence of the Function of the Body[J]. Food hygiene Magazine, 1998, 39(3):206.
- [10] BSEN 13130-1, Materials and Articles in Contact with Food-stuffs-plastics Substances Subject to Limitation[S].
- [11] 彭青枝,李涛,潘思铁. 食品包装材料聚碳酸酯中双酚 A 残留量的测定[J]. 食品科学,2000,24(4):51-56.
PENG Qing-zhi, LI Tao, PAN Si-tie. Determination of Bisphenol A Residues in Polycarbonate Food Packaging Materials[J]. Food Science, 2000, 24(4):51-56.
- [12] 秦定霞,崔毓桂,刘嘉茵. 双酚 A 对生殖系统的影响及其作用机制[J]. 国际生殖健康,2010(1):27-29.
QIN Ding-xia, CUI Shu-jia, LIU Jia-yin. Bisphenol A to the Influence of the Reproductive System and Its Mechanism of Action[J]. International Reproductive Health, 2010(1):27-29.
- [13] 刘涛,李美蓉. 双酚 A 对子宫肌瘤细胞体外增值的研究[J]. 中国药物与临床,2010(3):271-273.
LIU Tao, LI Mei-rong. Research of Appreciation of Bisphenol A in Uterine Fibroids Cell in Vitro Value-added[J]. Chinese Remedies & Clinics, 2010(3):271-273.
- [14] VANDENBERG L N. The Influence of Bisphenol A to Reproductive System[J]. Reprod Toxicol, 2007, 24(2):139-177.
- [15] HCSC(Health Canada). Government of Canada Protect Families with Bisphenol A Regulations[EB/OL]. [2008-12-10].
- [16] 1990/128EEC of 23 Feb. 1990, O J, L75/19, 21. 3. 1990 [S].
- [17] 2004/13/EC of 29 Jan. 2004, O J, L27/46, 30. 1. 2004 [S].
- [18] 吴丽旋,王玫瑰,陈红杰,等. 聚碳酸酯容器中双酚 A 迁移量的研究进展[J]. 工程塑料,2011,39(11):93-95.
WU Li-xuan, WANG Mei-gui, CHEN Hong-jie, et al. Re-

- search Progress of Migration Amount of Bisphenol A in Polycarbonate Containers [J]. Engineering Plastics Application, 2011, 39(11): 93-95.
- [19] VIEITEZ A, CORTIZAS D, PASEIRO D, et al. Stability of BADGE in Foodstuff Canned in Aqueous MEDIUM [J]. Chromatographia, 2001, 53(1): 480-481.
- [20] GOODSON A, SUMMERFIELD W. Food Contact Coatings-European Legislation and Future Predictions [J]. Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions, 2001, 84(2): 105-112.
- [21] 王志伟, 黄秀玲, 胡长鹰. 多类型食品包装材料的迁移研究 [J]. 包装工程, 2008, 29(10): 1-7.
- WANG Zhi-wei. Migration Research of Kinds of Food Packaging Materials [C]//The 12th National Packaging Engineering Academic Conference Papers Column Transfer Limit Provisions. (余不详)
- [22] MERCEA P. Physicochemical Processes Involved in Migration of Bisphenol A from Polycarbonate [J]. Applied Polymer Science, 2009, 112(2): 579-593.
- [23] SOHEI Hata, HIROKO Goto, ETSU Yamada, et al. Chemical Conversion of Poly(Carbonate) to 1,3-dimethyl-2-imidazolidinone (DMI) and Bisphenol A: A Practical Approach to the Chemical Recycling of Plastic Wastes [J]. Polymer, 43(7): 2109-2116.
- [24] JOAQUIM Maia, JOSÉMANUEL, CRUZ, RAQUEL Sendón, et al. Effect of Amines in the Release of Bisphenol A from Polycarbonate Baby Bottles [J]. Food Research International, 2010, 43(5): 1283-1288.
- [25] BILES J E, MCNEAL T P, BEGLEY T H, et al. Determination of Bisphenol-A in Reusable Polycarbonate Food-Contact Plastics and Migration to Food-Simulating Liquids [J]. J Agric Food Chem, 1997, 45(9): 3541-3544.
- [26] 姚卫蓉, 俞晔. 食品包装容器中双酚 A 含量的调查和迁移研究 [C]//第二届国际食品安全高峰论坛论文集. 北京: 北京食品学会, 2009: 118-120.
- YAO Wei-rong, YU Hua. The Investigation of Content of Bisphenol A and Migration Study in Food Packaging Containers [C]//The second International Food Safety Summit Forum Proceedings. Beijing: [s. n.], 2009: 118-120.
- [27] 王文枝. 婴儿奶瓶及食品包装材料中双酚 A 的风险评估 [D]. 上海: 中国科学院上海冶金研究所, 2008: 197-199.
- WANG Wen-zhi. The Risk Assessment of Bisphenol A in Baby Bottles and Food Packaging Materials [D]. Shanghai: Chinese Academy of Sciences Shanghai Institute of Metallurgy, 2008: 197-199.
- [28] 李丽莎. 高效液相色谱法检测桶装饮用水中双酚 A [J]. 实用预防医学, 2006, 13(2): 429-30.
- LI Li-sha. High Performance Liquid Chromatography Method to Detect Bisphenol A in Bottled Drinking Water [J]. Practical Preventive Medicine, 2006, 13(2): 429-30.
- [29] 王楼明, 李英, 刘丽, 等. 顶空衍生固相微萃取-气相色谱质谱法测定聚碳酸酯树脂中的环境雌激素 [J]. 分析实验室, 2006, 25(8): 79-83.
- WANG Lou-ming, LI Ying, LIU Li, et al. Top Empty Derived SPME-Gas Chromatography Mass Spectrometry to Test Environmental Estrogens in Polycarbonate Resin [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2006, 25(8): 79-83.
- [30] 李英, 王楼明, 张琛. 固相微萃取-气相色谱-质谱法测定水中双酚 A [J]. 质谱学报, 2005, 26(1): 18-21.
- LI Ying, WANG Lou-ming, ZHANG Chen. Solid Phase Micro Extraction-gas Chromatography-mass Spectrometry to Test Bisphenol A in the Water [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2005, 26(1): 18-21.
- [31] 陈启荣, 魏岩, 郎爽, 等. 加速溶剂萃取/气相色谱-质谱法测定糖果包装材料中的双酚 A [J]. 食品科学, 2010, 31(6): 165-167.
- CHEN Qi-rong, WEI Yan, LANG Shuang, et al. Accelerated Solvent Extraction/Gas Chromatography-Mass Spectrometry to Test Bisphenol A in Candy Packaging Materials [J]. Food Science, 2010, 31(6): 165-167.
- [32] NAM Sung-hyun, SEO Young-min, KIM Man-goo. Bisphenol A Migration from Polycarbonate Baby Bottle with Repeated Use [J]. Chemosphere, 2010, 79(9): 949-952.
- [33] 唐熙, 陈高群, 梁鸣, 等. 气相色谱法测定塑料奶瓶中迁移出的双酚 A [J]. 福建分析测试, 2010, 19(4): 13-17.
- TANG Xi, CHEN Gao-qun, LIANG Ming, et al. Gas Chromatography to Test the Migration of Bisphenol A in Plastic Bottles [J]. Fujian Analysis & Testing, 2010, 19(4): 13-17.
- [34] JOAQUIM M, JOSÉ Manuel, CRUZ, Raquel SENDON, et al. Effect of Amines in the Release of Bisphenol A from Polycarbonate Baby Bottles [J]. Food Research International, 2010, 43(5): 1283-1288.