纸质食品包装材料迁移测试研究用固体食品模拟物的选择

薛美贵[1,2]，王双飞[2]
（1. 东莞理工学院 城市学院，东莞 523106；2. 广西大学，南宁 530004）

摘要：利用气相色谱-质谱联用技术（GC-MS），对市面上常用纸质包装材料进行包装的食品——米粉、大米、脱脂奶粉、白砂糖，以及目前研究常用的、价格昂贵的食品模拟物 Porapak 的热稳定性与对各种模拟污染物的吸收性能进行了分析，以寻求代替 Porapak 用于分析纸质食品包装材料迁移测试的最佳食品模拟物。研究结果表明，在 100 ℃时，出现了大米熟化、白砂糖热分解、脱脂奶粉焦化的现象，与其他食品相比，米粉的热稳定性最好；对 75 ℃时各食品（模拟物）对模拟污染物的吸收性能依次为：Porapak>米粉>脱脂奶粉>白砂糖>大米，米粉与 Porapak 的吸收性能最接近，可以利用米粉代替 Porapak，作为食品模拟物进行迁移测试实验。

关键词：纸质食品包装材料；迁移测试；食品模拟物；Porapak
中图分类号：TB484.1；TS206　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563（2012）21-0051-06

Selection of Solid Food Simulants for Migration Test from Paper Food Packaging Materials

XUE Mei-gui[1,2]，*WANG Shuang-fei*[2]
（1. City College of Dongguan University of Technology，Dongguan 523106；2. Guangxi University，Nanning 530004）

Abstract：Gas Chromatography Mass Spectrum（GC-MS）was applied to study the thermal stability and pollutants absorption from food（simulants），such as rice powder，milk powder，white sugar and rice which were packed by paper packaging materials and Porapak which was usually used as the solid food simulant in migration tests. Results showed that when temperature got to 100 ℃，the rice was cooked，the white sugar was thermal decomposed，and the milk powder was carbonized，the thermal stability of rice powder is the best；under the temperature of 75 ℃，the absorption of these food（simulants）to all the surrogates are as follows：Porapak>rice powder>milk powder>white sugar>rice. Considering to the cost，it was concluded that rice powder can substitute the expensive Porapak to be used as solid food simulant to assess the safety of paper food packaging materials in migration tests.

Key words：paper food packaging material；migration test；food simulants；Porapak

了解食物与包装材料之间的相互作用，有助于确定食品质量与货架寿命，尤其是可以追踪包装食品在出厂到销售这段时间内所发生的迁移与吸收现象。有研究表明[1]，包装材料中的污染物与食品之间的相容性，是影响食品与包装材料之间相互作用的主要因素，对迁移有着重要的作用。所以，对迁移以及吸收进行评价，需要有合适的、能够再现真实情况的具体食品或合适的食品模拟物。考虑到真实食品成分的复杂性会使得分析变得繁杂、困难，通常在对食品与包装材料之间的相互作用进行分析的时候，一般都采用食品模拟物。

目前，欧盟等国家对塑料食品包装材料进行迁移试验研究的条件，如温度、食品（食品模拟物）与包装材料的接触时间、以及食品模拟物等，都已经确立并形成比较系统的法规[2-3]。然而，对纸质食品包装材料进行的研究却比较少，尤其是食品模拟物的研究。同时，中国-欧盟世贸项目中也指出[4]，欧盟法规中缺少干制食品的模拟物，但是干制食品的迁移量可能会比水质模拟物的多。

大量研究表明[5-8]，污染物质在食品与空气之间，以及纸质包装材料与空气之间的分配系数都非常大，也说明大部分污染物仍存留在包装材料与食品

收稿日期：2012-09-05
作者简介：薛美贵（1984-），女，山东临沂人，博士，东莞理工学院城市学院讲师，主要从事印刷包装材料的教学与研究。

中。人们最终关注的是食品中含有污染物的量，所以，污染物在食品与纸质包装材料之间的分配关系才是我们研究的重点。本研究选取了干性、非脂肪性的固体食品以及食品模拟物，通过对模拟污染物在食品（食品模拟物）与纸质包装材料之间的平衡分配系数（$K_{f,p}$）进行分析，以寻求分析纸质食品包装材料迁移测试用最佳食品模拟物。

1 实验

1.1 仪器

气相色谱仪：Trace GC 2000，DB-5MS，美国 Thermo 公司；质谱仪：Trace DSQ，美国 Thermo 公司；迁移单元：实验室自制，具体示例见图 1。

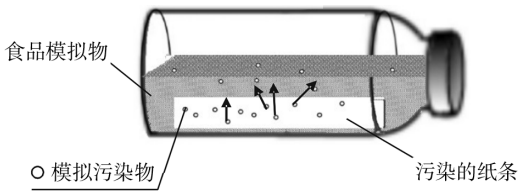

图 1 实验用迁移单元示意

Fig. 1 Sketch map of migration cell used in the test

1.2 药品

正己烷：国药集团化学试剂有限公司，分析纯；乙醚：广东汕头市西陇化工厂，分析纯；对于迁移实验用污染物质，根据笔者在以前对多种印刷纸样进行分析得到的结果[9]，确认以下物质为本迁移实验用污染物质，其具体情况见表 1。

表 1 迁移实验用模拟污染物的具体情况

Tab. 1 Details of surrogates used in the migration test

模拟污染物	相对分子质量	沸点/℃	极性	生产厂家以及纯度等级
2,6-二异丙基萘(2, 6-DiPNs)	212	279.3	非极性	日本东京化成工业株式会社 TCI，优级纯
苯酚	86	182	极性	重庆川东化工(集团)有限公司化学试剂厂
十二烷基苯	246	331	极性	日本东京化成工业株式会社 TCI，多种支链十二烷基苯的混合物，优级纯
邻苯二甲酸二丁酯(DBP)	278	340	极性	成都金山化学试剂有限公司，分析纯
邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)	390	385	弱极性	Fluka 美国 Sigma-Aldrich 化学品公司，色谱纯

1.3 材料

C. Nerín 等人[10-12]在纸张迁移试验研究中的结果表明，所使用的食品模拟物——奶粉与 Tenax（改性聚苯醚 MPPO）都存在一定的缺点，不能对真实情况进行准确描述，如奶粉的吸收性较差、Tenax 的热稳定性不够等，并且欧洲委员会还规定用 Tenax 代替橄榄油作为高温条件下脂肪类液体食品模拟物[13]，所以，笔者在前人研究[14-18]的基础上，选取了吸收性能较好、热稳定性强的 Porapak 作为固体食品模拟物，对模拟污染物在其与纸质包装材料之间的分配关系——$K_{f,p}$，真实食品（常见于用纸质包装材料进行包装的）——米粉、大米、脱脂奶粉、白砂糖与纸质包装材料之间的分配关系——$K_{f,p}$以及各种食品对模拟污染物的吸收性能进行了分析，以确定迁移实验用最佳食品。

食品模拟物：大米、米粉、脱脂奶粉以及白砂糖。这些食品都是从当地超市直接购买的。另外，Porapak TM 是由 Fluka 美国 Sigma-Aldrich 化学品公司制造的，粒径为 100 ~ 120 目，纯度等级为分析纯。

有研究表明[5,8,10-12]，模拟污染物在纸质包装材料与食品模拟物之间的分配关系随着温度以及时间的变化，大体趋势都是相同的，所以不同的纸质包装材料其极性对模拟污染物在包装材料与食品之间的分配情况影响不大。故在本实验中仅选择一种纸样作为实验用纸样，其具体情况见表 2，用正己烷对其进行抽提，得到的 GC 图谱见图 2，可以看出，除溶剂峰外，不含有其他特征峰，即该牛皮纸中不含有任何其他的有机污染物质。

表 2 迁移实验用纸样的具体情况

Tab. 2 Details of paper samples used in the migration test

纸样	水分/%	定量/(g·m^{-2})	厚度/mm	表面处理
牛皮纸板	5.54	229.00	0.37	无涂布、无印刷

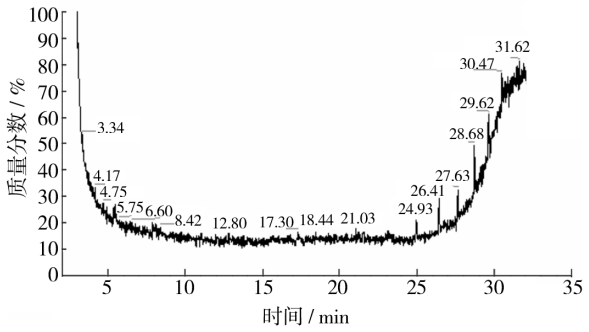

图 2　实验用牛皮纸板正己烷抽提溶液的 GC 图谱

Fig. 2 GC chromatograms obtained from n-hexane extraction of kraft paper board in the test

1.4　方法与步骤

1.4.1　模拟污染物混合溶液的配制

以往研究表明除极个别的样品外，各种物质在纸样中的含量（质量浓度，后同）都低于 100 mg/L[9]。然而，在本实验中，为了理论研究的方便，将各种模拟污染物溶于正己烷，配置成质量浓度为 250 mg/L 的混合溶液，以备以下实验使用。

1.4.2　模拟污染物混合溶液标准溶液的配制

将以上配置好的质量浓度为 250 mg/L 的模拟污染物混合溶液按照以下质量浓度进行梯度稀释：10，20，50，150，100 mg/L，以绘制标准曲线。

1.4.3　样品准备

将各纸样按照 1 cm×7 cm 的规格裁切后，利用索式抽提的方法，用正己烷对其进行抽提。连续抽提 8 h 后，晾干，用铝箔纸包裹后，置于恒温恒湿实验室，以备使用。利用索式抽提的方法，用正己烷分别对各食品以及 Porapak 进行抽提，连续抽提 8 h 后，晾干，备用。

按照 GB/T 6433—1994 方法，对实验用食品中的脂肪含量进行测定，各种食品中的脂肪含量见表 3。

表 3　实验用各食品中的脂肪含量

Tab. 3 Fat contents of different food used in the test

食品模拟物	大米	米粉	脱脂奶粉	白砂糖
脂肪质量分数/%	0.445	0.620	0.150	0.285

1.4.4　纸样的污染预处理

实验时，将抽提处理后的 1 cm×7 cm 纸条放于盛有质量浓度为 250 mg/L 的模拟污染物混合溶液的具塞玻璃瓶中，在室温下浸泡 24 h 后，取出，风干 30 min，备用。

1.4.5　迁移实验条件

在实验中，根据参考文献[10-11，19]，食品模拟物 Porapak 的用量为 0.28 g，为保证食品与纸样的充分接触，各种食品——大米、米粉、脱脂奶粉以及白砂糖的用量分别为 3.00，0.50，1.00，1.50 g，采用的迁移实验条件如下：

25 ℃（室温条件）：6 h，1，2，3，4，5，6，7，8，9，10 天；

50 ℃：15 以及 30 min，1，2，4，6，8，24，31，48 h；

75 ℃：10，20，40，60，90，120，180，300，480 min；

100 ℃：5，10，15，20，30，40，50，60，90，120，180 min。

假设在每个温度条件下，实验最终都达到了平衡状态。

1.4.6　检测用 GC-MS 条件

所用升温程序为：

$$60\ ℃ \xrightarrow{80\ ℃/min} 240\ ℃,4\ min \xrightarrow{10\ ℃/min} 280\ ℃,2\ min$$

1.4.7　迁移实验方法

将污染处理过的纸条放置在如图 1 所示的迁移单元内，分别在一定的温度、时间等条件下进行迁移实验，然后分别用 5 mL 正己烷对纸条与食品（模拟物）进行振荡抽提 30 min，最后用微滤膜（孔径为 0.4 μm）对抽提液进行过滤，以备 GC-MS 分析，具体实验流程见图 3。

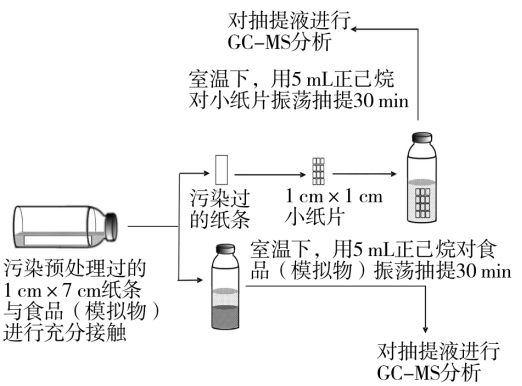

图 3　迁移实验流程

Fig. 3 Procedures for migration test

2　结果与讨论

2.1　标准曲线的绘制

实验条件下，混合模拟污染物中各物质标准曲线的回归方程与线性相关系数见表 4。

表 4 混合模拟污染物中各物质的标准曲线及线性相关系数

Tab. 4 Calibration graphs and linear correlation coefficients of surrogates in the test

污染物	回归方程	线性相关系数(R^2)
苯酚	Y=54 278X−561 745	0.9979
十二烷基苯	Y=40 571X−509 790	0.9923
2,6-DiPNs	Y=791 200X+170 663	0.9949
DBP	Y=956 940X−1×10^7	0.9933
DEHP	Y=248 561X−3×10^6	0.9985

2.2 污染预处理后的纸样中模拟污染物原始含量的测定

将用质量浓度为 250 mg/L 的模拟污染物混合溶液污染预处理过的 1 cm×7 cm 纸条,先用 5 mL 正己烷进行彻底抽提,后用 GC-MS 对抽提液进行分析,测定其中各模拟污染物的初始含量,具体测定结果见表 5。

表 5 纸条(1 cm×7 cm)中各模拟污染物的初始含量(质量浓度)

Tab. 5 Initial contents of surrogates in the 1 cm×7 cm paper strips mg/L

纸样	苯酚	十二烷基苯	2, 6-DiPNs	DBP	DEHP
牛皮纸板	22.678	27.243	4.041	25.398	35.559

2.3 各种食品(模拟物)的热稳定性分析

温度的变化是造成模拟污染物在食品(模拟物)与包装材料之间进行重新分配的一个重要的外部影响因素,同时,温度也是表征食品(模拟物)热稳定性的重要参数。现对不同温度条件下,当迁移达到平衡状态时,各模拟污染物在不同食品与包装材料之间的分配系数 $K_{f,p}$的最大值进行分析,结果见图 4。

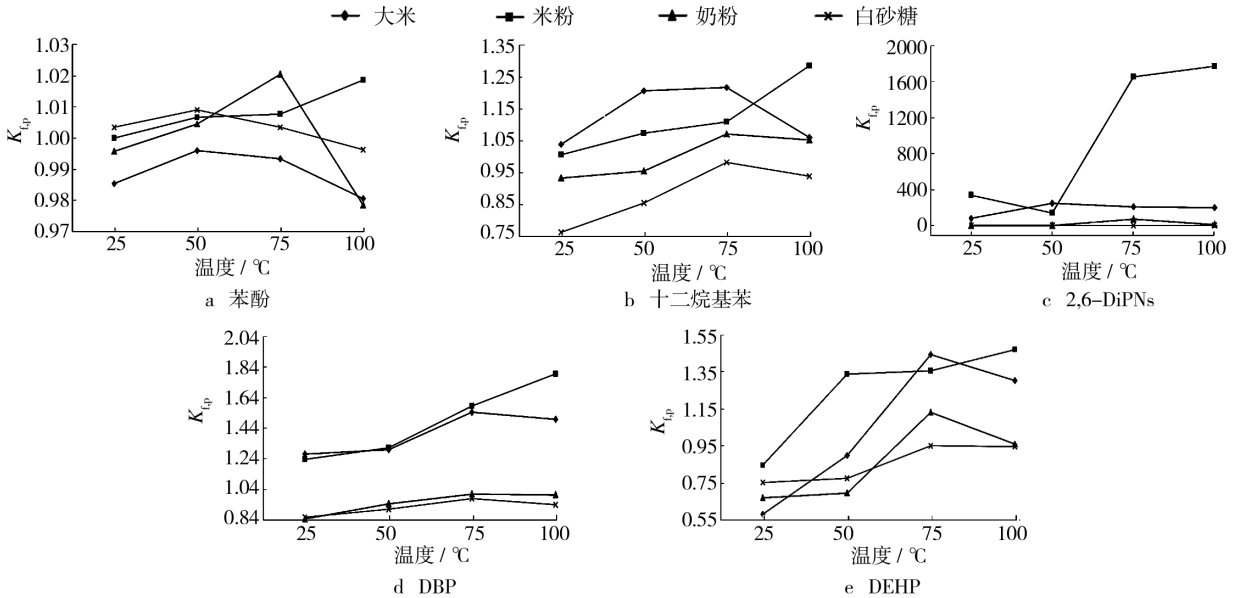

图 4 迁移达到平衡状态时各模拟污染物在不同食品与包装材料之间的分配系数 $K_{f,p}$的最大值

Fig. 4 Maximum $K_{f,p}$ of surrogates between different food simulants and packaging materials under equilibrium state

从图 4 可以看出,各种模拟污染物在米粉与包装材料之间的分配系数 $K_{f,p}$随着温度的升高,其最大值逐渐增大,即在 100 ℃时的值最大;而对于其他食品(模拟物),在温度低于 75 ℃时,各模拟污染物在其与包装材料之间的分配系数 $K_{f,p}$值随温度的升高而增大,但是,当温度达到 100 ℃时,却发生了下降,这与前人报道的结果相吻合[10]。究其原因,可能是当温度超过 75 ℃,达到实验设定的 100 ℃时,有些物质的挥发性发生了大幅度增强,使得模拟污染物在样品转移等操作过程中挥发损失加大,从而使得 $K_{f,p}$值发生了降低;与此同时,在实验过程中还发现,当温度达到 100 ℃时,有些食品模拟物的性质发生了改变,如:大米发生熟化,白砂糖发生热分解,而脱脂奶粉在温度为 75 ℃,时间超过 5 h 的情况下,就已经开始出现焦化现象,其吸附性能下降,从而导致了 $K_{f,p}$值的降低。

综上所述可以认为,在这 4 种食品(模拟物)中,米粉的热稳定性最好,并且由于迁移具有时温等效性,即当迁移物质以及食品(模拟物)一定时,在温度

较低、时间较长情况下的迁移量与在温度较高、时间较短情况下的迁移量是相当的。所以，为了提高实验效率，可以将 75 ℃设为以下迁移测试用温度。

2.4　食品(模拟物)对各种模拟污染物吸收性能的分析

迁移测试实验中，在做到保证对模拟污染物向食品中的迁移量进行客观分析的基础上，为确保现实情况中测得的污染物向真实食品中的迁移量不超过有关规定的标准，在迁移测试中，需要所使用的食品模拟物对各种模拟污染物的吸收性能最强，即最糟糕情况。所以，主要对食品(模拟物)对各种模拟污染物的吸收性能进行了分析，以确定吸收性能最佳的食品，用来代替价格昂贵的 Porapak。

研究中将各温度条件下，模拟污染物在食品与纸张之间进行分配时，食品所吸收模拟污染物的质量与食品的质量之比定义为食品的吸收性能，其单位为无量纲 1，主要用于表征在一定时间、温度条件下，单位质量的食品对纸张中某种模拟污染物的吸收能力。

从以上分析发现，各温度条件下，当模拟污染物在食品模拟物与纸质包装材料之间的分配达到平衡状态时，除米粉外，各模拟污染物在其他食品(模拟物)与纸质包装材料之间的分配系数 $K_{f,p}$ 值在 75 ℃时达到最大，即各模拟污染物向食品中的迁移量最大，此时才能够表征食品(模拟物)对各模拟污染物的吸收能力。所以，本研究对 75 ℃条件下，各食品(模拟物)对模拟污染物的吸收性能进行了分析，结果见图 5。

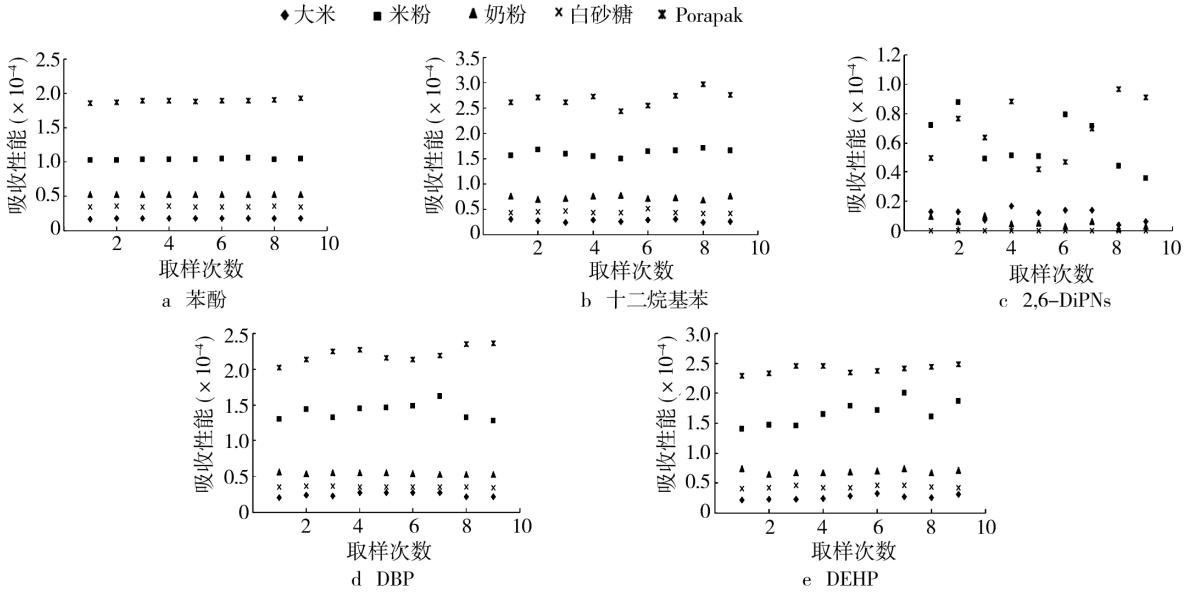

图 5　75 ℃条件下，各食品(模拟物)对模拟污染物的吸收性能

Fig. 5 Adsorptions of surrogates by food simulants at 75 ℃

对图 5 进行分析，发现除图 5c 中对 2，6-二异丙基萘的吸收性能外，对其他各模拟污染物而言，各食品(模拟物)的吸收性能分别为：Porapak>米粉>脱脂奶粉>白砂糖>大米，即相同条件下(即温度与模拟污染物相同)，Porapak 对各模拟污染物的吸收性能最强，米粉的次之，这可能是由米粉是一种粉状、多孔性物质以及其脂肪含量较高的原因所致，尤其是对 DEHP 的吸附性最强，这与 DEHP 易被脂肪含量高的物质所抽出的事实是相符合的。对图 5c 进行分析可以发现，米粉与 Porapak 的吸收性能相似，并且吸收性能较其他食品都高，与此同时，发现其他食品对其吸收性能分别为：大米>奶粉>白砂糖，这与对其他模拟污染物的吸收性能是有所不同的。

与文献中提到的结果相符[10-12]，实验过程中也发现，当温度达到 75 ℃及 100 ℃时，脱脂奶粉发生焦化，所以，虽然脱脂奶粉也是一种粉状吸附性物质，但是其热稳定性与吸收性能都低于米粉的。同样，从图 5c 中还可以发现，除对 2，6-二异丙基萘外，大米对其他模拟污染物的吸收性能最低，可能是因为其本身是一种坚硬的、表面光滑的粒状物质，所以对其他物质的吸收性差。

对于白砂糖，经实验测定，本研究所用的 4 种食品中，除脱脂奶粉外，白砂糖的脂肪含量最低，所以这可能是导致其对有机模拟污染物的吸收性较差的原

因,尤其是对 2, 6-二异丙基萘的吸收性最差。

从以上分析发现,与其他食品相比,米粉对所有模拟污染物的吸收性能最好,并且其吸收性能与 Porapak 最为接近。考虑到 Porapak 是一种价格昂贵的吸附剂,实验成本较高,所以,可以使用米粉代替 Porapak,作为纸质食品包装材料迁移测试用食品模拟物。

3 结论

1) 通过对各模拟污染物在 25,50,75,100 ℃的温度条件下,在各食品(模拟物)与纸样之间的分配系数 $K_{f,p}$的最大值进行分析。结果发现,75 ℃时模拟污染物在除米粉外的其他食品(模拟物)与纸样之间的 $K_{f,p}$达到最大值,而对米粉而言,在 100 ℃时达到最大值。实验过程中还发现,在 100 ℃时,出现了大米熟化、白砂糖热分解、脱脂奶粉焦化的现象,所以与其他各食品相比,米粉的热稳定性最好。

2) 在 75 ℃的条件下,将各食品(模拟物)对模拟污染的吸收性能进行了对比分析。各食品(模拟物)的吸收性能分别为:Porapak>米粉>脱脂奶粉>白砂糖>大米。米粉与 Porapak 的吸收性能最接近,并且米粉的热稳定性最好。因此,可以用米粉代替 Porapak,作为食品模拟物进行迁移测试实验。

参考文献:

[1] HERNÁNDEZ-MUÑOZ P, CATALÁR, GAVARA R. Simple Method for the Selection of the Appropriate Food Simulant for the Evaluation of a Specific Food/packaging Interaction [J]. Food Additives and Contaminants, 2002, 19 (supplement): 192-200.

[2] JOHNS S M, JICKELLS S M, READ W A, et al. Studies on Functional Barriers to Migration: Use of Model Substances to Investigate Transfer from Paper and Board Packaging to Food[J]. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 1996, 9: 273-278.

[3] LAURENCE Calstle, CHRISTOPHER P Offen, MALCOLM J. Migration Studies from Paper and Board Food Packaging Materials Compositional Analysis[J]. Food Additives and Contaminants, 1997, 14(1): 35-44.

[4] EU-China Trade Project-Choosing Test Conditions[R]. FCM Training, 2008.

[5] NERÍN C, ASENSIO E. Behaviour of Organic Pollutants in Paper and Board Samples Intended to be in Contact with Food[J]. Analytical Chimmica Acta, 2004, 508: 185-191.

[6] FRANZ R, SALAFRANCA J. Programme on the Recyclability of Food-packaging Materials with Respect to Food Safety Considerations: Polyethylene Terephthalate (PET), Paper and Board, and Plastics Covered by Functional Barriers[J]. Food Additives and Contaminants, 2002, 19: 93-110.

[7] SIMONEAU C, THEOBALD A, RONCARI P, et al. Time-temperature Study of Kinetics of Migration of BADGE (bisphenol-A-diglycidyl-ether) into a Fatty Medium[J]. Food Additives and Contaminants, 2002, 19 (supplement): 73-78.

[8] 黄崇杏. 食品包装纸中残留污染物的分析及其迁移行为研究[D]. 无锡:江南大学, 2008.
HUANG Chong-xing. Study on the Residual Contaminants in Paper and Board Food Packaging Materials and Their Migrations[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.

[9] XUE Mei-gui, WANG Shuang-fei, HUANG Chong-xing, et al. The Analysis of Organic Contaminants in Printing Paper Food Packaging Materials[C]//In Dr Thomas Goedecke, 17th IAPRI World Conference on Packaging, Tianjin China, 2010: 360-363.

[10] NERÍN C, CONTÍN E, ASENSIO E. Kinetic Migration Studies Using Porapak as Solid-food Simulant to Assess the Safety of Paper and Board as Food-packaging Materials[J]. Anal Bioanal Chem, 2007, 387: 2283-2288.

[11] NERÍN C, ASENSIO E. Selection of Solid Food Simulants for Migration Test from Paper and Board[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2007, 387(6): 2283-2288.

[12] NERÍN C, BATLLE R, CACHO J. Design of a Test for Migration Studies in Vapour Phase[J]. Food Additives and Contaminants, 1998, 15(1): 84-92.

[13] 97/48/EC, Commission Directive of 29 July 1997 Amending for Second Time Council Directive 82/711/EEC Laying Down the Basis Rules Necessary for Testing Migration of the Constituents of Plastic Materials and Articles Intended to Come into Contact with Foodstuffs[S].

[14] KLOSKOWSKI A, PETTERSSON J, ROERAADE J, et al. Thick Film Traps with an Irregular Film-Preparation and Evaluation[J]. J Chromatogr A, 2004, 1035: 159-165.

[15] NERIN C, RUBIO C, CACHO J, et al. Parts-per-trillion Determination of Styrene in Yoghurt by Purge-and-trap Gas Chromatography with Mass Spectrometry Detection[J]. Food Additives and Contaminants, 1998, 15(3): 346-354.

(下转第 112 页)

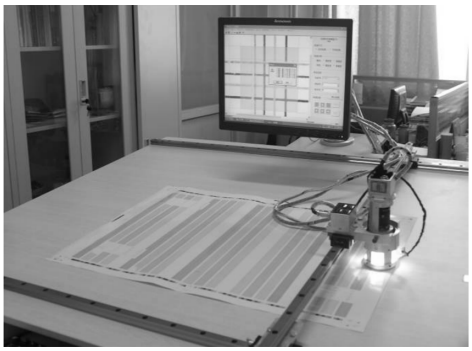

图 6 检测系统工作示意图

Fig. 6 The prototype machine of vision detection system

5 结论

研究了四色叠印套印标记图像的分割方法及系统软件的设计方法，软件的所有功能均在 VC++环境下实现并调试完成，解决了常见的 CMYK 四色叠印标记胶印机的套印偏差自动检测问题，拓宽了视觉检测技术的应用范围。实践应用表明：配合相应的硬件系统，该检测误差较小，满足彩色印刷机出厂时套印精度检测的需求。系统软件使用简单，操作方便，已经应用于北人集团印刷机套印偏差的检测。

参考文献：

[1] SHIWEN G, WENHE L, YU G, et al. Manufacturing Resource Planning Technology Based on Genetic Programming Simulation[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2009, 22(2): 177-183.

[2] 孙园园，陈长缨. 彩色印刷套印误差检测系统的设计与实现[J]. 陕西科技大学学报，2010，28(2)：100-103.
SUN Yuan-yuan, CHEN Chang-ying. Design and Implementation of Photoelectric System for Detecting Overprint Deviation in Color Printing[J]. Journal of Shanxi University of Science & Technology, 2010, 28(2): 100-103.

[3] 谢志萍. 基于 PLC 与图像联合控制的印刷套准系统关键技术研究[J]. 包装工程，2011，32(9)：71-73.
XIE Zhi-ping. Study of Key Technologies of Printing Register System Based on PLC and Image Joint Control[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9): 71-73.

[4] 王梅，李克天，赵荣丽. 印刷自动套准偏差检测软件的主要技术问题分析[J]. 包装工程，2008，29(12)：122-124.
WANG Mei, LI Ke-tian, ZHAO Rong-li. Analysis of the Main Technical Problems in Automatic Registering Deviation Detection Software[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(12): 122-124.

[5] 赵明炎，徐艳芳，王瑜. 基于数字图像处理的套印误差检测方法[J]. 北京印刷学院学报，2009，17(2)：1-4.
ZHAO Ming-yan, XU Yan-fang, WANG Yu. A Method for Detecting Register Error Based on Digital Image Process[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Comm Unication, 2009, 17(2): 1-4.

[6] 于丽杰，李德胜. 彩色套印偏差检测中的图像处理技术研究[J]. 计算机工程与应用，2010，46(11)：190-195.
YU Li-jie, LI De-sheng. Application of Image Processing in Detection of Overprint Deviation in Color Printing[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(11): 190-195.

[7] 于丽杰，李德胜. 彩色印刷套准识别方法研究[J]. 计算机工程与应用，2011，47(5)：163-165.
YU Li-jie, LI De-sheng. Study on Identifying Register State of Color Printing[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(5): 163-165.

[8] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 第 2 版. 北京：北京电子工业出版社，2005.
GONZALEZ R C. Digital Image Processing[M]. 2ed Edition. Beijing: Beijing Electron Industry Press, 2005.

(上接第 56 页)

[16] NERIN C, RUBIO C, CACHO J, et al. Separation of Polymer and On-line Determination of Several Antioxidants and UV Stabilizers by Coupling Size-exclusion and Normal-phase High-performance Liquid Chromatography Columns[J]. J Chromatogr A, 1995, 690(2): 230-236.

[17] HARPER M. Sorbent Trapping of Volatile Organic Compounds from Air[J]. J Chromatogr A, 2000, 885(1-2): 129-151.

[18] NERIN C, ACOSTA D. Behavior of Some Solid Food Simulants in Contact with Several Plastics Used in Microwave Ovens[J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(25): 7488-7492.

[19] EU Project CT 98-4318, Programme on the Recyclability of Food Packaging Materials with Respect to Food Safety Considerations-Polyethylene Terephthalate (PET), Paper and Board and Plastic Covered by Functional Barriers[S].