

## 调查研究

## 咖啡及其制品中糠醛类污染物含量测定及其含量水平初步调查

卢素格,翟志雷,张利锋,刘红丽,马青青

(河南省疾病预防控制中心,河南省食品安全风险监测评价医学重点实验室,河南郑州 450016)

**摘要:**目的 了解咖啡及其制品中糠醛类污染物的含量水平,为监管部门制定监管政策或为国家标准制修订提供基础数据。方法 利用气相色谱-三重四极杆串联质谱对咖啡及其制品中糠醛类污染物进行检测,通过 Excel 和 SAS 软件对结果进行分析和统计。结果 52 份样品中,3 种糠醛类污染物均有检出,其糠醛类污染物含量水平为 5-羟甲基糠醛>糠醛>5-甲基糠醛,且 5-羟甲基糠醛含量最高值为 2 587 mg/kg;按类别分析,糠醛类污染物总量变化趋势为:纯速溶咖啡>二合一速溶咖啡>咖啡豆(粉)>咖啡饮料;按 5-羟甲基糠醛在糠醛类污染物总量占比分析,纯速溶咖啡/二合一速溶咖啡>咖啡豆(粉)/咖啡饮料。结论 调查的咖啡及其制品中均含有糠醛类污染物,其含量水平与国外文献报道相符合。

**关键词:**咖啡及其制品;糠醛;5-甲基糠醛;5-羟甲基糠醛

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2023)09-1323-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2023.09.011

**Determination and preliminary investigation of furfural compounds in coffee and its products**

LU Suge, ZHAI Zhilei, ZHANG Lifeng, LIU Hongli, MA Qingqing

(He'nan Provincial Key Laboratory of Food Safety Risk Monitoring and Evaluation, He'nan Provincial Center for Disease Control and Prevention, He'nan Zhengzhou 450016, China)

**Abstract: Objective** This study aimed to provide basic data for the regulatory authorities to formulate regulatory policies or for the preparation and revision of national standards by investigating the content level of furfural pollutants in coffee and its products. **Methods** Furfural pollutants in coffee and its products were detected by gas chromatography triple quadrupole mass spectrometry. The results were analyzed and counted using Excel and SAS. **Results** Three furfural pollutants were detected in 52 samples, the content level of furfural pollutants was 5-hydroxymethylfurfural > furfural > 5-methylfurfural, and the highest content of 5-hydroxymethylfurfural was 2 587 mg/kg. By category analysis, it was found that the change trend was pure instant coffee > two-in-one instant coffee > coffee bean (powder) > coffee beverage. According to the proportion of 5-hydroxymethylfurfural in the total amount of furfural pollutants, it was found that the change trend was pure instant coffee / two-in-one instant coffee > coffee bean (powder) / coffee beverage. **Conclusion** The survey results show that all coffee types and their products contain furfural pollutants and their content levels are consistent with foreign literature reports.

**Key words:** Coffee and its products; furfural; 5-methylfurfural; 5-hydroxymethylfurfural

生咖啡豆是无味的,必须经过烘焙,给生咖啡豆提供热量,使咖啡豆产生复杂的化学反应,才能产生出咖啡的色、香、味。在咖啡烘焙过程中,会产生 5-羟甲基糠醛。5-羟甲基糠醛是含糖食品的常见成分,它是糖热降解和美拉德反应的产物<sup>[1-2]</sup>。自 20 世纪 50 时代以来,不断出现食物中含有 5-羟甲基糠醛的报道。5-羟甲基糠醛几乎存在于所有含有

游离碳水化合物的食品中,很少存在于新鲜和未经加工的食品中。其高含量样品主要集中在干果、咖啡和焦糖制品中<sup>[3]</sup>,如 BACHMANN 等<sup>[4]</sup>报道焦糖制品中 5-羟甲基糠醛的浓度高达 9 500 mg/kg,烘焙咖啡中含量最高达 4 023 mg/kg<sup>[5]</sup>,干果中含量高达 2 200 mg/kg<sup>[6]</sup>。且含量水平随着热处理或者贮存时间的延长而增加<sup>[7]</sup>。5-羟甲基糠醛自身不稳定,进一步受热可裂解成糠醛和 5-甲基糠醛<sup>[8]</sup>,是美拉德反应的晚期产物。

目前国内关于糠醛类污染物的报道,大多集中在乳制品<sup>[8]</sup>、调味品<sup>[9]</sup>、焙烤食品<sup>[10]</sup>和干果<sup>[11]</sup>中,但有关咖啡及其制品中糠醛类污染物的报道较少。

收稿日期:2022-07-13

基金项目:河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20210164)

作者简介:卢素格 女 副主任技师 研究方向为食品及食品安全  
风险监测 E-mail:41874505@qq.com

本研究拟通过不同的采样环节收集咖啡及其制品样品,采用气相色谱-三重四极杆串联质谱(GC-MS/MS)法对咖啡及其制品中糠醛类污染物进行检测,并对其检测结果进行统计分析,以期发现不同种类的样品间是否存在一定的规律,为后续开展其他热加工或发酵食品中相关物质的检测提供帮助和数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品来源

样品采集选择商店、网店和餐饮3个采样环节(采集比例1:1:1),共采集样品52份,监测糠醛类污染物为:糠醛、5-甲基糠醛和5-羟甲基糠醛。所采咖啡及其制品按照样品类别分类如下:纯速溶咖啡(8份)、二合一速溶咖啡(11份)、烘焙咖啡豆(粉)(13份)、咖啡饮料(速溶咖啡饮品和煮制咖啡饮品)(20份)。煮制咖啡饮品要求当天采样,当天完成样品前处理及上机测定,其他样品采集后常温避光保存。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样品前处理

纯速溶咖啡:称取0.3000g样品于100mL容量瓶内,加入5mL 50%乙醇溶液、5mL 10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液超声10min,冷却后用水定容至刻度;二合一速溶咖啡:称取0.5000g样品于10mL容量瓶内,加入2mL 50%乙醇溶液、5mL 10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液超声10min,冷却后用水定容至刻度;咖啡豆(粉):称取0.5000g样品于25mL容量瓶内,加入5mL 50%乙醇溶液、5mL 10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液超声10min,冷却后用水定容至刻度;常规咖啡饮料:取2.5mL样品于10mL容量瓶内,加入5mL 10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液充分混匀,用水定容至刻度;含奶较多的咖啡饮料:取咖啡饮料8.0mL,加乙腈2mL,10000r/min离心5min,取上清液2.5mL于10mL容量瓶内,加5mL 10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液充分混匀,用水定容至刻度。

取上述提取液各10.0mL,8000r/min离心5min后,取1.5mL加0.15mL 10.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 糠醛类内标液和1.5mL乙腈,充分混匀后,再加入0.6g氯化钠,涡旋5min,10000r/min离心2min,上层乙腈相待净化。取上述1mL乙腈提取液到QuEChERS净化管[300mg/2mL,含 $\text{C}_{18}$ (100mg),SCX(50mg)]中,充分涡旋混合1min,10000r/min离心2min,吸出净化液入进样瓶中进行GC-MS/MS分析。

#### 1.2.2 测定方法

样品采用气相色谱-三重四极杆串联质谱进行

测定,多反应监测(MRM)模式。色谱条件:色谱柱:Rtx-wax 弹性石英毛细管柱(30m $\times$ 0.25mm $\times$ 0.25 $\mu\text{m}$ ,日本岛津),升温程序:初温60 $^{\circ}\text{C}$ ,保持2min,以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至130 $^{\circ}\text{C}$ ,再以30 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至240 $^{\circ}\text{C}$ ,保持3min,最后240 $^{\circ}\text{C}$ 后运行15min。进样体积:1.0 $\mu\text{L}$ ;恒线速度模式,无分流进样;进样口温度:220 $^{\circ}\text{C}$ ;载气为高纯氦气(纯度 $\geq 99.999\%$ ),流速为1.0mL/min;质谱条件:电子轰击电离源(EI);电离能量:70eV;接口温度:240 $^{\circ}\text{C}$ ;四极杆温度:150 $^{\circ}\text{C}$ ;离子源温度:230 $^{\circ}\text{C}$ ;碰撞气:氩气(纯度 $\geq 99.999\%$ );MRM模式;质谱扫描范围为45~450amu,溶剂延迟时间为8.5min。

#### 1.2.3 质量控制

对采样人员进行统一培训,统一技术标准,严格按照采样要求进行采集。根据试验要求校准仪器,优化试验条件,试验过程中采用平行样及样品加标来控制整个样品测定流程。

### 1.3 统计学分析

采用SAS 9.2软件进行统计学分析,两组正态性数据比较采用 $t$ 检验,两组或两组以上非正态数据比较采用Kruskal-Wallis法秩和检验,检验水准 $\alpha=0.05$ , $P\leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 方法线性范围、检出限和定量下限

在0.05~10.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的浓度范围内,所得3种糠醛类污染物的回归方程均呈较好的线性关系, $r\geq 0.9997$ 。以3倍信噪比计算,方法的检出限为0.008~2.0mg/kg;以10倍信噪比计算,方法的定量下限为0.020~5.0mg/kg。

### 2.2 3种糠醛类污染物总体监测结果

本次调查的3种糠醛类污染物,所有样品中,存在1~3种均有检出的情况,样品检出率为100%。其中糠醛的含量范围为0.267~100mg/kg;5-甲基糠醛的含量范围为0.133~47.9mg/kg;5-羟甲基糠醛的含量范围为0.330~2587mg/kg,样品中糠醛类污染物具体检测情况见表1。

糠醛( $W=0.773$ , $P<0.0001$ )、5-甲基糠醛( $W=0.786$ , $P<0.0001$ )和5-羟甲基糠醛( $W=0.523$ , $P<0.0001$ )含量分布均不符合正态分布。Kruskal-Wallis法秩和检验比较,3种成分含量水平差异有统计学意义( $\chi^2=19.8475$ , $P<0.0001$ )。将Kruskal-Wallis法秩和检验进行两两比较发现,糠醛与5-甲基糠醛差异无统计意义( $\chi^2=2.8352$ , $P=0.0922$ ),糠醛与5-羟甲基糠醛( $\chi^2=10.5241$ , $P=0.0012$ )、5-甲基糠醛与5-羟甲基糠醛( $\chi^2=16.5628$ , $P<0.0001$ )

表 1 监测样品中糠醛类污染物检测结果

Table 1 Detection results of furfural pollutants in monitoring samples

污染物类别	最小值/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	中位数/(mg/kg)	四分位极差	标准差
5-羟甲基糠醛	0.330	270	2 587	37.4	147	578
糠醛	0.267	16.5	100	5.36	24.9	20.1
5-甲基糠醛	0.133	11.2	47.9	2.67	18.8	13.0

差异均有统计学意义。结合调查项目含量测定具体数据,各种咖啡制品中 5-羟甲基糠醛含量最高,是咖啡中的主要糠醛类污染物,糠醛和 5-甲基糠醛含量差异不明显。

### 2.3 不同类别中 5-羟甲基糠醛及糠醛类污染物总量监测结果

4 个采样类别中,5-羟甲基糠醛监测结果见表 2,由表 2 可以看出,纯速溶咖啡中 5-羟甲基糠醛含量最高,达 2 587 mg/kg,这也与文献报道相符合<sup>[5-6]</sup>。各类咖啡制品中 5-羟甲基糠醛污染情况呈现如下趋势:纯速溶>二合一>咖啡豆(粉)>饮料。

纯速溶咖啡( $W=0.877, P=0.1747$ )、二合一速溶咖啡( $W=0.928, P=0.3918$ )中 5-羟甲基糠醛含量符合正态分布;咖啡豆(粉)( $W=0.858, P=0.0360$ )、咖啡饮料( $W=0.612, P<0.0001$ )中 5-羟甲基糠醛含量不符合正态分布;Kruskal-Wallis 法秩和检验比较,4 类咖啡中 5-羟甲基糠醛含量差异有统计学意义( $\chi^2=45.1789, P<0.0001$ )。两两比较,纯速

溶咖啡分别与二合一( $t=5.37, P=0.0010$ )、咖啡豆( $\chi^2=14.1818, P=0.0002$ )、饮料( $\chi^2=16.5517, P<0.0001$ )含量差异均有统计学意义;二合一与咖啡豆( $\chi^2=13.1119, P=0.0003$ )、饮料( $\chi^2=20.6250, P<0.0001$ )含量差异均有统计学意义;咖啡豆与饮料( $\chi^2=21.5511, P<0.0001$ )含量差异有统计学意义。

由于 5-羟甲基糠醛是咖啡豆在烘焙中产生的过程污染物,且高温下自身不稳定,在加热至一定程度时部分会分解成糠醛和 5-甲基糠醛,即糠醛和 5-甲基糠醛是由 5-羟甲基糠醛转化而来。因此为便于分析,把三者浓度相加进行统计,具体结果见表 3。由表 3 可以看出,在 4 个类别中,糠醛类污染物总量大致分为 3 个水平:纯速溶咖啡属于高含量,二合一速溶咖啡和咖啡豆(粉)属于中等含量,咖啡饮料属于低含量。如果把监测样品分为固体样品(二合一速溶咖啡、纯速溶咖啡、烘焙咖啡豆(粉))和液体样品(咖啡饮料)的话,固体样品中糠醛类污染物总量远大于液体样品中糠醛类污染物总量。

表 2 监测样品中 5-羟甲基糠检测结果

Table 2 Detection results of 5-hydroxymethylfurfural in monitoring samples

监测类别	最小值/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	中位数/(mg/kg)	四分位极差	标准差
纯速溶咖啡	719	1 466	2 587	1 321	1 026	689
二合一速溶咖啡	46.0	151	262	134	137	77.0
咖啡豆(粉)	18.5	43.9	98.8	43.9	29.9	25.3
咖啡饮料	0.330	4.06	25.3	1.53	3.53	6.07

表 3 监测样品中糠醛类污染物总量检测情况

Table 3 Detection of total furfural pollutants in monitoring samples

监测类别	最小值/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	中位数/(mg/kg)	四分位极差	标准差
纯速溶咖啡	785	1 530	2 641	1 371	741	674
二合一速溶咖啡	50.5	158	270	141	128	77.4
咖啡豆(粉)	62.6	104	105	100	54.2	46.2
咖啡饮料	0.958	7.45	31.1	4.87	7.30	7.46

### 2.4 不同类别中 5-羟甲基糠醛在糠醛类污染物总量中占比分析

为了解不同类别中 5-羟甲基糠醛在糠醛类污染物总量的占比情况,选择最小值、平均值、最大值、中位数、四分位极差和标准差 6 个参数来进行

对比分析,具体结果见表 4。由表 4 可以看出,纯速溶和二合一速溶咖啡样品 6 个参数的数值相当;咖啡豆(粉)和咖啡饮料中,有 4 个参数(最小值、平均值、中位数和四分位极差)数值相当,最大值和标准差有一定的区别。

表 4 不同类别中 5-羟甲基糠醛在糠醛类污染物总量中占比情况

Table 4 Proportion of 5-hydroxymethyl furfural in total furfural pollutants in different categories

监测类别	最小值/%	平均值/%	最大值/%	中位数/%	四分位极差/%	标准差
纯速溶咖啡	87.8	94.7	98.4	96.3	5.39	0.037 2
二合一速溶咖啡	86.7	94.4	98.1	95.0	4.26	0.032 5
咖啡豆(粉)	29.5	40.7	53.1	39.2	12.3	0.074 7
咖啡饮料	28.7	45.2	97.4	37.2	17.0	0.179

纯速溶咖啡( $W=0.872, P=0.1595$ )、二合一速溶咖啡( $W=0.900, P=0.1836$ )、咖啡豆(粉)( $W=0.928, P=0.3251$ )中5-羟甲基糠醛占比均符合正态分布,咖啡饮料( $W=0.778, P=0.0004$ )中5-羟甲基糠醛占比不符合正态分布。纯速溶与二合一咖啡中5-羟甲基糠醛占比进行比较,两者在总量中占比差异无统计学意义( $t=0.21, P=0.8956$ )。咖啡豆(粉)与纯速溶和二合一速溶咖啡整体比较,差异有统计学意义( $t=24.35, P<0.0001$ );咖啡饮料与纯速溶和二合一速溶咖啡整体比较,差异有统计学意义( $\chi^2=24.1776, P<0.0001$ ),咖啡饮料与咖啡豆比较,差异无统计学意义( $\chi^2=0.0489, P=0.8250$ )。

### 3 讨论

5-羟甲基糠醛是糖热降解和美拉德反应的产物,是咖啡豆在烘焙过程中产生的过程污染物。本次调查4个不同类别的咖啡及其制品中,5-羟甲基糠醛在纯速溶咖啡、二合一速溶咖啡、咖啡豆(粉)和咖啡饮料中的最大值分别为2587、262、98.8、25.3 mg/kg。西班牙调查了不同种类的咖啡中5-羟甲基糠醛的含量水平,最大值分别为研磨咖啡2186 mg/kg和可溶性咖啡4023 mg/kg<sup>[5]</sup>,澳大利亚调查了研磨咖啡和烘焙咖啡中5-羟甲基糠醛的含量水平,最大值为1900 mg/kg<sup>[6]</sup>。结合西班牙和澳大利亚对咖啡及其制品中5-羟甲基糠醛的调查数据可知,本次调查结果在合理范围内。参考ABRAHAM等<sup>[3]</sup>对5-羟甲基糠醛毒性和风险的研究,上述咖啡及其制品中5-羟甲基糠醛含量远低于其安全摄入量,即以正常成年人人体质量60 kg计算,每天摄入5-羟甲基糠醛4.8~6.0 g以上才会引起不良反应。以纯速溶咖啡中最高含量2587 mg/kg为例,每个成年人每天至少需饮用1.86 kg的纯速溶咖啡才会引起不良反应,故日常饮用咖啡是安全的。

咖啡豆按烘焙程度可分为浅度烘焙咖啡豆、中度烘焙咖啡豆和深度烘焙咖啡豆<sup>[12-14]</sup>,5-羟甲基糠醛的含量会随着烘焙程度的加深而不断下降,并进一步生成糠醛和5-甲基糠醛。有报道咖啡豆在烘焙温度为220℃,烘焙时间15 min时,产生5-羟甲基糠醛的量达最大值,此后随着时间的延长,5-羟甲基糠醛的量会逐渐减少<sup>[15]</sup>。MOON等<sup>[16]</sup>对两支咖啡豆进行不同温度和时间条件下的烘焙,发现糠醛和5-甲基糠醛在240℃14 min条件下达到最高含量,之后糠醛和5-甲基糠醛会在受热条件下进一步分解形成糠酸,随后脱酸产生CO<sub>2</sub><sup>[17]</sup>。本次调查也发现,浅度烘焙咖啡豆(5-羟甲基糠醛在总量中占

比:53.3%、51.6%、48.4%和48.1%)和中度烘焙咖啡豆(5-羟甲基糠醛在总量中占比:28.9%、27.4%、25.8%和24.6%)中,糠醛和5-甲基糠醛含量水平随着烘焙程度的加深而不断升高。深度烘焙咖啡豆(5-羟甲基糠醛在总量中占比:38.1%、37.1%、35.6%、34.4%和33.9%)中,糠醛和5-甲基糠醛含量水平随着烘焙程度的加深而不断降低。

纯速溶咖啡和二合一速溶咖啡中5-羟甲基糠醛占比相近,咖啡豆(粉)和咖啡饮料中5-羟甲基糠醛占比相近。通过其配料表可知,纯速溶咖啡和二合一速溶咖啡中一般是速溶咖啡,咖啡豆(粉)和咖啡饮料中一般是咖啡豆(粉)。由速溶咖啡和咖啡豆(粉)的制作工艺可知,咖啡豆是生咖啡豆的预处理和烘焙,速溶咖啡是生咖啡豆的预处理、烘焙、磨碎、萃取、浓缩、干燥。速溶咖啡较烘焙咖啡豆(粉)加工步骤多了萃取、浓缩和干燥,该加工过程加剧了糠醛和5-甲基糠醛向糠酸的转化过程,这也在一定程度上解释了速溶咖啡中5-羟甲基糠醛在糠醛类污染物总量中占比高的原因。

本次调查共采集52份样品,涉及4个不同的样品类别,监测污染物种类为糠醛、5-甲基糠醛和5-羟甲基糠醛,监测结果显示所有样品中均含有糠醛类污染物。所有样品中糠醛类污染物含量水平:5-羟甲基糠醛>糠醛>5-甲基糠醛;不同类别中5-羟甲基糠醛和糠醛类污染物总量:纯速溶咖啡>二合一速溶咖啡>咖啡豆(粉)>咖啡饮料;5-羟甲基糠醛在糠醛类污染物总量中的占比:二合一速溶咖啡和纯速溶咖啡中存在的糠醛类污染物基本上都是5-羟甲基糠醛。

本次调查为咖啡及其制品中糠醛类污染物的初步调查,样品数量有限,由试验数据获取的糠醛类污染物的污染规律只是该研究的初步结论。今后仍需加大采样量,通过大量的数据和统计学分析,验证咖啡及其制品中糠醛类污染物的污染规律。

### 参考文献

- [1] CAPUANO E, FERRIGNO A, ACAMPA I, et al. Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies[J]. Food Research International, 2009, 42(9): 1295-1302.
- [2] 曾世通, 卢斌斌, 李鹏, 等. 丙氨酸与葡萄糖美拉德反应体系中HMF的形成分析[J]. 中国食品学报, 2017, 17(4): 289-293.
- ZENG S T, LU B B, LI P, et al. Analysis of the 5-hydroxymethylfurfural formation in Maillard reaction system of alanine and glucose[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science

- and Technology, 2017, 17(4): 289-293.
- [ 3 ] ABRAHAM K, GÜRTLER R, BERG K, et al. Toxicology and risk assessment of 5-hydroxymethylfurfural in food [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2011, 55(5): 667-678.
- [ 4 ] BACHMANN S, MEIER M, KÄNZIG A. 5-hydroxymethyl-2-furfural (HMF) in lebensmittel [J]. Lebensmittelchemie, 1997, 51: 49-50.
- [ 5 ] ARRBAS-LORENZO G, MORALES F J. Estimation of dietary intake of 5-hydroxymethylfurfural and related substances from coffee to Spanish population [J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(2): 644-649.
- [ 6 ] MURKOVIC M, PICHLER N. Analysis of 5-hydroxymethylfurfural in coffee, dried fruits and urine [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2006, 50(9): 842-846.
- [ 7 ] FALLICO B, ZAPPALÀ M, ARENA E, et al. Effects of conditioning on HMF content in unifloral honeys [J]. Food Chemistry, 2004, 85(2): 305-313.
- [ 8 ] 崔钰莹, 于欣楷, 章航, 等. 气相色谱-三重四极杆串联质谱法测定发酵乳中4种糠醛类物质 [J]. 分析测试学报, 2020, 39(2): 278-282.
- CUI Y Y, YU X K, ZHANG H, et al. Determination of four furfural compounds in fermented milk by gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2020, 39(2): 278-282.
- [ 9 ] 林晓珊, 黄晓兰, 吴惠勤, 等. 气相色谱-串联质谱法快速测定调味品中3种糠醛类物质 [J]. 分析测试学报, 2012, 31(11): 1345-1351.
- LIN X S, HUANG X L, WU H Q, et al. Determination of three furfurals in condimen by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2012, 31(11): 1345-1351.
- [ 10 ] 蔡玮红, 洗燕萍, 罗海英, 等. UPLC-MS/MS法同时测定焙烤食品中的丙烯酰胺、4-甲基咪唑与5-羟甲基糠醛 [J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 249-254.
- CAI W H, XIAN Y P, LUO H Y, et al. Determination of acrylamide, 4-methylimidazole and 5-hydroxymethylfurfural in baked food using ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 249-254.
- [ 11 ] 汪辉, 黎瑛, 夏立新, 等. 高效液相色谱法测定葡萄干中糠醛类物质 [J]. 理化检验: 化学分册, 2014, 50(11): 1377-1381.
- WANG H, LI Y, XIA L X, et al. HPLC determination of furfurals in raisins [J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis, 2014, 50(11): 1377-1381.
- [ 12 ] WANG X J, LIM L T. A kinetics and modeling study of coffee roasting under isothermal conditions [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(3): 621-632.
- [ 13 ] WANG X J, LIM L T. Effect of roasting conditions on carbon dioxide degassing behavior in coffee [J]. Food Research International, 2014, 61: 144-151.
- [ 14 ] FERRAZ M B M, FARAH A, IAMANAKA B T, et al. Kinetics of ochratoxin A destruction during coffee roasting [J]. Food Control, 2010, 21(6): 872-877.
- [ 15 ] 秦昆明, 郑礼娟, 曹岗, 等. 中药炮制机理研究的思路与方法: 以咖啡豆的烘焙原理研究为例 [J]. 中国科学: 化学, 2013, 43(7): 829-839.
- QIN K M, ZHENG L J, CAO G, et al. Ideas and methods for mechanism research of traditional Chinese medicine processing—Taking coffee beans roasting mechanism research as an example [J]. Scientia Sinica: Chimica, 2013, 43(7): 829-839.
- [ 16 ] MOON J K, YOO H S, SHIBAMOTO T. Role of roasting conditions in the level of chlorogenic acid content in coffee beans: Correlation with coffee acidity [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(12): 5365-5369.
- [ 17 ] PETISCA C, PÉREZ-PALACIOS T, PINHO O, et al. Optimization and application of a HS-SPME-GC-MS methodology for quantification of furanic compounds in espresso coffee [J]. Food Analytical Methods, 2014, 7(1): 81-88.