

# 砷含量测定在蜂蜜掺假鉴别中的应用

桂茜雯\*, 林宏, 丁涛, 王艳, 郭玲, 顾玉婷, 季美泉

(江苏出入境检验检疫局, 南京 210001)

**摘要:** **目的** 建立一种通过检测蜂蜜中砷的含量来鉴别大米糖浆掺假的方法。**方法** 检测并比较大量不同来源的大米糖浆和纯正蜂蜜中砷的含量, 同时优化了蜂蜜中砷的检测方法, 样品以硝酸-微波消解, 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)测定, 内标法定量。**结果** 在 0~5.0  $\mu\text{g/L}$  范围内线性良好, 定量限为 10  $\mu\text{g/kg}$ , 10、15 和 30  $\mu\text{g/kg}$  的添加水平的回收率均在 83.7%~109.6%之间, 相对标准偏差小于 5.9%, 并确定了蜂蜜中大米糖浆的阳性判定限, 砷含量在 15  $\mu\text{g/kg}$  以上的蜂蜜为大米糖浆掺假蜂蜜。**结论** 该方法前处理简单, 结果准确度和精密度高, 纯蜂蜜和大米糖浆的中砷的含量差别明显, 可用于蜂蜜中大米糖浆的掺假鉴别。

**关键词:** 蜂蜜; 大米糖浆; 掺假鉴别; 砷; 电感耦合等离子体质谱

## Arsenic detection in the application of honey adulteration

GUI Qian-Wen\*, LIN Hong, DING Tao, WANG Yan, GUO Ling, GU Yu-Ting, JI Mei-Quan

(Jiangsu Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Nanjing 210001, China)

**ABSTRACT: Objective** To develop a method for detecting the arsenic concentration in honey to identify rice syrup adulteration. **Methods** Different sources and numbers of honeys and rice syrup were detected and compared by arsenic concentration. The experimental conditions for the arsenic determination in honey by microwave digestion/inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) were optimized. **Results** Good linearity was obtained in the range of 0~5  $\mu\text{g/L}$  for arsenic detection with the quantitation limit of 10  $\mu\text{g/kg}$ . The recovery ranged from 83.7%~109.6% at three levels of 10, 15 and 30  $\mu\text{g/kg}$  with relative standard deviation less than 5.9%. The concentration limit of positive rice syrup in honey was determined. The arsenic concentration over 15  $\mu\text{g/kg}$  was identified as the rice syrup adulteration honey. **Conclusion** It has significant difference between pure honey and adulterated honey. The method is fast, easy and suitable for identifying rice syrup in honey adulteration.

**KEY WORDS:** honey; rice syrup; adulteration; arsenic; inductively coupled plasma mass spectrometry

## 1 引言

蜂蜜是一种天然的甜味品, 随着生活水平的提

高, 人们越来越关注蜂蜜的营养和药用价值, 对它的需求也越来越大。近年来, 一些不法商人将相对便宜的糖浆掺到蜂蜜中来获取暴利。常用的掺假糖浆主要

基金项目: 江苏省“333工程”科研项目(BRA2013276)、江苏省大型科学仪器服务平台项目(BZ201302)

**Fund:** Supported by the Research Program of 333 Engineering in Jiangsu Province (BRA2013276) and the Program of Large Scientific Instrument Service Platform in Jiangsu Province (BZ201302).

\*通讯作者: 桂茜雯, 工程师, 主要研究方向为食品元素检测。E-mail: wendy\_gqw@aliyun.com

\*Corresponding author: GUI Qian-Wen, Engineer, Jiangsu Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, No.99, Zhonghua Road, Nanjing 210001, China. E-mail: wendy\_gqw@aliyun.com

包括玉米糖浆、甘蔗糖浆、大米糖浆和甜菜糖浆。稳定同位素法<sup>[1]</sup>能够准确、有效鉴定蜂蜜是否掺入 C4 植物糖, 如甘蔗、玉米糖浆, 但该方法无法鉴定 C3 植物糖(大米糖浆、甜菜糖浆)的掺假。由于大米糖浆比甜菜糖浆便宜, 所以目前国内市场中主要使用的掺假糖浆为大米糖浆<sup>[2]</sup>。目前针对蜂蜜中大米糖浆的检测方法是利用高效液相色谱-质谱/质谱法检测大米糖浆中的特征物。本研究利用大米糖浆含有砷而蜂蜜中不含砷的特点, 建立了一种通过测定砷的含量来鉴别蜂蜜中是否掺有大米糖浆的方法。目前测定食品中砷的方法已相对成熟, 主要有氢化物原子荧光光度法、银盐法、砷斑法、比色法<sup>[3]</sup>和 ICP-MS 法<sup>[4]</sup>。相对于其他方法, ICP-MS 法操作简单、重现性好, 且更为安全。本研究运用微波消解-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定蜂蜜中的砷, 考查并比较了大量不同来源的大米糖浆和纯蜂蜜中砷含量的区别, 并制定阳性判定限。该方法前处理较为简单, 为检测蜂蜜中的大米糖浆掺假提供了一条新途径。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器与试剂

电感耦合等离子体质谱仪: Agilent 7700s ICP-MS(美国 Agilent 公司); 微波消解仪: MARS 6(美国 CEM 公司); 密封消解罐(美国 CEM 公司); 超纯水处理仪(英国 ELGA 公司)。

硝酸(69%, 优级纯, 德国 CNW 公司); 砷元素标准储备溶液: 100 mg/L(Sigma); 内标溶液(锆 Ge): 10 mg/L(美国 Agilent 公司)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 配制溶液

取 50 mL 硝酸, 缓缓加入 950 mL 超纯水中, 配制成 5%硝酸溶液。取 2 L 硝酸, 缓缓加入 8 L 超纯水中, 配制成硝酸浸泡液。准确移取适量砷元素标准储备溶液, 用配制好的 5%硝酸溶液逐级稀释为 100  $\mu\text{g/L}$  的砷标准溶液。准确移取适量内标储备液, 用 5%硝酸溶液逐级稀释至 5  $\mu\text{g/L}$  的内标工作液。

#### 2.2.2 样品前处理

在采样和制样的过程中, 应防止样品受到污染。所有玻璃器皿和消化管均需以硝酸浸泡液浸泡 24 h, 用水反复冲洗, 最后用去离子水冲洗干净。

称取蜂蜜样品 0.5 g(精确至 0.001 g)于密封消解

罐中, 加入 3 mL 硝酸(69%), 盖上密封盖, 放入微波消解仪中, 微波消解仪功率和加热时间设定至最佳程序, 具体参数见表 1。消解结束后, 冷却至室温, 将消化液转移至 25 mL 容量瓶中, 用去离子水冲洗消解罐内壁 3 次以上, 定容至刻度线, 混匀, 待测。

表 1 微波消解参数  
Table 1 Parameters for microwave digestion

步骤	控制温度/ $^{\circ}\text{C}$	升温时间/min	恒温时间/min
1	120	5	2
2	190	15	25

取与消化试样同样量的硝酸, 按同一消解方法做试剂空白试验。

#### 2.2.3 ICP-MS 条件

ICP-MS 工作条件: 雾化器: 耐盐型; 采样锥和截取锥: 镍; 雾化室: 石英双通道 scott; 雾化室温度: 2  $^{\circ}\text{C}$ ; 载气流速: 0.7 L/min; 辅助气流速: 0.37 L/min; 等离子气流量: 15 L/min; 高频发射功率: 1500 W; 采样深度: 8 mm; NO GAS 模式测定。

进样时采用内标法定量, 砷元素质荷比: 75; 内标元素锆质荷比: 72; 积分时间: 0.3 s。

## 3 结果与讨论

### 3.1 大米糖浆和纯天然蜂蜜中砷元素含量的分析

因生物富集作用, 国内外大米普遍含有砷<sup>[5-12]</sup>, 在相同的土壤条件下, 相比小麦、玉米等作物, 水稻会富集更多的砷<sup>[13,14]</sup>。因此, 大米糖浆中的砷含量也相对较高。为了了解和验证大米糖浆和天然蜂蜜中砷的含量, 本研究对不同来源的 10 种大米糖浆和 93 个纯蜂蜜样品的砷含量进行了分析。蜂蜜来自中国 8 个省及自治区, 有洋槐蜜、葵花蜜、棉花蜜、油菜蜜、荆条蜜、椴树蜜、枣花蜜和荞麦蜜等 8 个不同蜜源, 采集工作均通过中国蜂产品出口商会组织并交由 SGS 专门负责, 避免了采样过程中的误差和污染。具体检测结果见表 2 和表 3。

结果表明, 在收集的大米糖浆中砷含量均较高, 检测值在 156~288  $\mu\text{g/kg}$  之间; 而纯蜂蜜中砷的含量较低, 均<15  $\mu\text{g/kg}$ 。部分纯蜂蜜中有砷检出, 这可能与蜜源地土壤污染或蜂蜜生产时带入的污染有关, 但纯蜂蜜与大米糖浆中的砷的含量相差 10 倍以上, 砷的含量可以作为掺假蜂蜜的判定指标之一。根

表 2 不同来源的大米糖浆中砷的含量( $n=3$ )  
Table 2 Concentration of arsenic from the different sources in rice syrup( $n=3$ )

样品编号	样品来源	取样日期	砷含量( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
R-01	江苏	2012.4.12	167
R-02	江苏	2012.4.12	211
R-03	新疆	2011.12.16	156
R-04	新疆	2011.12.16	172
R-05	河南	2011.11.17	213
R-06	河南	2011.11.17	165
R-07	山东	2011.11.19	187
R-08	山东	2011.11.19	288
R-09	四川	2011.10.19	166
R-10	四川	2011.10.19	175

表 3 不同地区不同蜜源的蜂蜜中砷的含量( $n=3$ )  
Table 3 Concentration of arsenic in the honey from different regions and varieties ( $n=3$ )

样品编号	样品名称	样品批号	取样日期	砷含量( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
S-01	江苏油菜 11-1	0302843	2011.4.16	11
S-02	江苏油菜 11-2	0306842	2011.4.16	12
S-03	江苏油菜 11-3	0304841	2011.4.16	ND
S-04	江苏油菜 11-4	0304840	2011.4.16	ND
S-05	江苏油菜 11-5	0303840	2011.4.17	ND
S-06	江苏油菜 11-6	0304839	2011.4.17	ND
S-07	江苏油菜 11-7	0304838	2011.4.19	ND
S-08	江苏油菜 11-8	0308837	2011.4.19	10
S-09	江苏油菜 11-9	0306837	2011.4.19	12
S-10	江苏油菜 11-10	0305856	2011.4.19	11
S-11	江苏油菜 11-11	0309856	2011.4.19	ND
S-12	河南荆条 9-1	0306964	2011.7.8	ND
S-13	河南荆条 9-2	0306957	2011.7.8	ND
S-14	河南荆条 9-3	0306955	2011.7.8	ND
S-15	河南荆条 9-4	0306946	2011.7.8	ND
S-16	河南荆条 9-5	0306939	2011.7.8	10
S-17	河南荆条 9-6	0306926	2011.7.8	10
S-18	河南荆条 9-7	0306924	2011.7.7	10
S-19	河南荆条 9-8	0306903	2011.7.7	12
S-20	河南荆条 9-9	0306913	2011.7.7	8
S-21	新疆油菜 9-1	0301899	2011.4.11	12
S-22	新疆油菜 9-2	0300891	2011.4.11	ND
S-23	新疆油菜 9-3	0909891	2011.4.11	10

续表 3

样品编号	样品名称	样品批号	取样日期	砷含量( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
S-24	新疆油菜 9-4	0307890	2011.4.12	ND
S-25	新疆油菜 9-5	0304898	2011.4.12	10
S-26	新疆油菜 9-6	0309898	2011.4.13	ND
S-27	新疆油菜 9-7	0307897	2011.4.13	11
S-28	新疆油菜 9-8	0305895	2011.4.13	ND
S-29	新疆油菜 9-9	0300896	2011.4.13	ND
S-30	四川油菜 7-1	0014727	2011.3.30	11
S-31	四川油菜 7-2	0014712	2011.3.30	ND
S-32	四川油菜 7-3	0014716	2011.3.30	12
S-33	四川油菜 7-4	0014708	2011.3.31	10
S-34	四川油菜 7-5	0014696	2011.3.31	ND
S-35	四川油菜 7-6	0014685	2011.3.31	11
S-36	四川油菜 7-7	0014640	2011.3.31	ND
S-37	内蒙葵花 2-1	0159866	2011.8.7	ND
S-38	内蒙葵花 2-2	0159854	2011.8.6	ND
S-39	新疆葵花 2-1	0200001	2011.7.29	11
S-40	新疆葵花 2-2	0200012	2011.7.29	ND
S-41	湖北油菜 5-1	0308909	2011.4.2	ND
S-42	湖北油菜 5-2	0308904	2011.4.1	ND
S-43	湖北油菜 5-3	0308917	2011.4.2	11
S-44	湖北油菜 5-4	0308933	2011.4.2	12
S-45	湖北油菜 5-5	0908932	2011.4.2	10
S-46	湖北荆条 2-1	0307900	2011.7.8	11
S-47	湖北荆条 2-2	0305847	2011.7.8	10
S-48	辽宁洋槐 5-1	1041079	2011.7.8	12
S-49	辽宁洋槐 5-2	1040678	2011.7.8	ND
S-50	辽宁洋槐 5-3	1041836	2011.7.8	11
S-51	辽宁洋槐 5-4	0011837	2011.7.8	ND
S-52	辽宁洋槐 5-5	1040435	2011.7.8	ND
S-53	新疆棉花 9-1	0200055	2011.7.30	ND
S-54	新疆棉花 9-2	0200073	2011.7.30	ND
S-55	新疆棉花 9-3	0200091	2011.7.30	ND
S-56	新疆棉花 9-4	0200113	2011.7.30	ND
S-57	新疆棉花 9-5	0200021	2011.7.29	ND
S-58	新疆棉花 9-6	0200085	2011.7.30	ND
S-59	新疆棉花 9-7	0200103	2011.7.30	ND
S-60	新疆棉花 9-8	0200045	2011.7.30	ND

续表 3

样品编号	样品名称	样品批号	取样日期	砷含量( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
S-61	新疆棉花 9-9	0200033	2011.7.29	ND
S-62	吉林椴树 4-1	1005645	2011.7.16	ND
S-63	吉林椴树 4-2	1002443	2011.7.16	ND
S-64	吉林椴树 4-3	1000042	2011.7.17	ND
S-65	吉林椴树 4-4	1000044	2011.7.17	ND
S-66	河北洋槐 4-1	0157753	2011.5.16	ND
S-67	河北洋槐 4-2	0157771	2011.5.17	ND
S-68	河北洋槐 4-3	0157782	2011.5.17	ND
S-69	河北洋槐 4-4	0157759	2011.5.16	ND
S-70	陕西枣花 3-1	0155077	2011.6.15	ND
S-71	陕西枣花 3-2	0155067	2011.6.15	ND
S-72	陕西枣花 3-3	0155055	2011.6.15	ND
S-73	山东洋槐 9-1	0021701	2011.5.18	ND
S-74	山东洋槐 9-2	0021709	2011.5.19	ND
S-75	山东洋槐 9-3	0021697	2011.5.18	ND
S-76	山东洋槐 9-4	0021687	2011.5.18	ND
S-77	山东洋槐 9-5	0021675	2011.5.18	ND
S-78	山东洋槐 9-6	0021662	2011.5.18	12
S-79	山东洋槐 9-7	0021666	2011.5.18	ND
S-80	山东洋槐 9-8	0021656	2011.5.18	11
S-81	山东洋槐 9-9	0021709	2011.5.18	ND
S-82	内蒙荞麦 2-1	0159881	2011.8.8	ND
S-83	内蒙荞麦 2-2	0159871	2011.8.7	ND
S-84	河南洋槐 10-1	0104575	2011.8.7	ND
S-85	河南洋槐 10-2	0104584	2011.8.7	ND
S-86	河南洋槐 10-3	0182744	2011.8.7	ND
S-87	河南洋槐 10-4	0182738	2011.8.7	ND
S-88	河南洋槐 10-5	0182734	2011.8.7	ND
S-89	河南洋槐 10-6	0104598	2011.5.6	ND
S-90	河南洋槐 10-7	0104605	2011.5.6	ND
S-91	河南洋槐 10-8	0182716	2011.5.7	ND
S-92	河南洋槐 10-9	0104505	2011.5.7	10
S-93	河南洋槐 10-10	0104668	2011.5.7	12

注: ND 表示 $<10 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

据实测的蜂蜜砷含量情况, 制定大米糖浆阳性判定限为 15  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

### 3.2 样品前处理条件的优化

#### 3.2.1 消解方式

测定食品中砷的消解方法主要分为干法消解、普通湿法消解和微波消解。夏春等<sup>[15]</sup>比较了各消解方法对蜂蜜中砷的回收率影响, 见表 4。

表 4 不同消解法的回收率(%)

Table 4 Recovery of As in samples in different digestion methods (%)

元素	干法消解	普通湿法消解	微波消解
砷(As)	70	85	96

由表 4 可知, 上述三种消解法中, 回收率较高的是微波消解法。干法消解灰化温度高, 损失较大; 普通湿法消解一般采用混酸(硝酸+高氯酸), 但高氯酸会带入干扰, 且试剂消耗量较大; 而微波消解所用的试剂单一、用量少, 对基体影响小, 且快速稳定, 损失较少, 分析时间大大缩短。所以本研究采用微波消解法。

#### 3.2.2 微波消解的温度和试剂

本研究比较了不同消解温度和不同酸体系消解对蜂蜜中砷测定的影响。每一组实验均需要做试剂空白、阴性样品、10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 20  $\mu\text{g}/\text{kg}$  的阴性样品加标和质控样(QC)。

##### (1) 微波消解温度

实验设置了两组不同的消解最高温度, 考察温度对消解效率的影响。两组加入同样体积的硝酸, A 组最高消解温度设置为 190  $^{\circ}\text{C}$ , B 组为 150  $^{\circ}\text{C}$ , 其他参数一致。实验的回收率数据见图 1。从图 1 可以看出, 最高消解温度为 190  $^{\circ}\text{C}$  的消解效果明显好于

150  $^{\circ}\text{C}$ , 推测较低的温度影响了样品基质的消化, 减少了基质中砷的溶出。

##### (2) 消解试剂

由于蜂蜜基质成分相对单一, 以糖类为主, 属于易消解基质<sup>[4]</sup>, 所以不考虑使用混合酸。设计比较三种方案, 分别为 3 mL 硝酸、4 mL 硝酸和 3 mL 硝酸+1 mL 过氧化氢, 其他条件一致。实验发现, 不同的消解试剂对蜂蜜试样的消解效果基本一致。从经济和环保的角度考虑, 我们选择 3 mL 硝酸作为消解试剂。

### 3.3 质谱条件优化

Agilent7700s 有三种调谐模式: No Gas 模式、He 气模式、H<sub>2</sub> 气模式。本实验采用 No Gas、He 气两种模式同时检测采集信号, 寻求最优实验方案。表 5 为相同的加标样品在不同模式下的仪器响应值(CPS)和相对标准偏差(RSD)。图 2 和图 3 为不同模式下, 相同的 As 标准溶液形成的标准曲线。

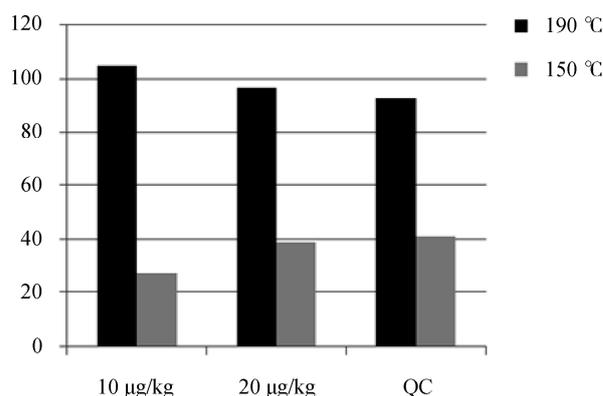


图 1 蜂蜜试样在不同消解温度下的回收率数据(RSD  $\leq$  5.6)  
Fig. 1 Recovery of As in honey samples in different digestion temperature (RSD  $\leq$  5.6)

表 5 砷加标样品在 He 气和 No Gas 两种模式下的仪器响应和 RSD

Table 5 CPS and RSD of samples added As in He and No Gas modes

试样号	A1	A2	B1	B2	C1	C2	
He 气模式	CPS	430.01	489.34	745.68	787.35	559.01	590.67
	RSD	0.61	3.59	0.97	0.44	2.79	4.25
No Gas 模式	CPS	2231.81	2441.50	3598.36	3754.72	2648.20	3261.63
	RSD	2.48	0.87	1.42	1.39	3.02	0.54

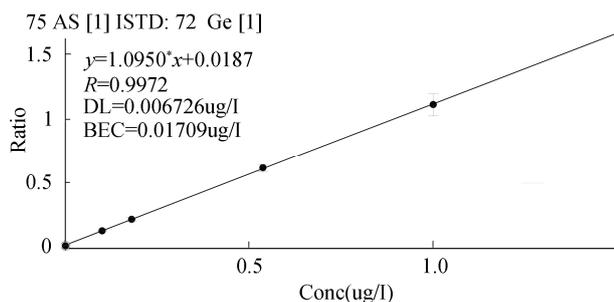


图2 在 He 气模式下的砷标准曲线图

Fig. 2 Standard curve of As in He mode

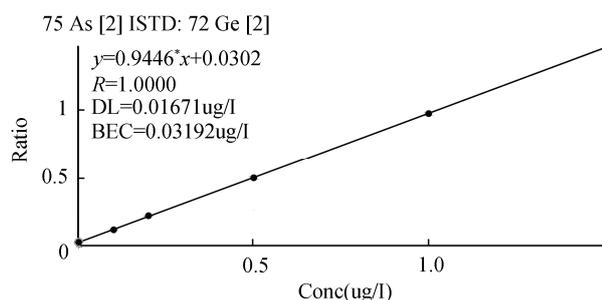


图3 在 No Gas 模式下砷的标准曲线图

Fig. 3 Standard curve of As in No Gas mode

通过表5、图2和图3可知,砷在No Gas模式下偏离度普遍较小,样品平行性好,RSD均低于3.02%,比He气模式下更稳定。本研究选用No Gas

模式进行测定。

### 3.4 方法学指标的考查

#### 3.4.1 校正曲线与线性范围

ICP-MS 仪器的线性范围较宽,考虑蜂蜜样品和大米糖浆中砷的含量情况,选用适宜的线性工作范围作标准曲线。在100 mL容量瓶中,移入砷标准溶液(100  $\mu\text{g/L}$ )各0.00、0.10、0.20、0.50、1.00、5.00 mL,定容为标准溶液,浓度分别为0.00、0.10、0.20、0.50、1.00、5.00  $\mu\text{g/L}$ ,在ICP-MS仪器最佳实验条件下绘制砷的标准曲线,线性相关系数 $>0.999$ 。参考线性范围和其响应值,制定检出限为10  $\mu\text{g/kg}$ 。该方法对砷的检测具有较低的检出限、较宽的线性范围,且线性回归系数在0.999以上,说明该方法检测蜂蜜中的砷是可行的。

#### 3.4.2 方法的精密度和回收率

分别在不同产地品种的8种蜂蜜样品中添加10、15和30  $\mu\text{g/kg}$  3个不同加标水平的砷,每个水平重复测定5次。回收率和RSD见表6。

通过表6中数据可以看出该方法平均回收率为83.7%~109.6%,相对标准偏差为2.4%~7.7%,说明该方法测定蜂蜜中砷的数值是可靠的。

### 3.5 实际样品检测

目前已检测近300个样品,阳性率约为30%,检出值在15~68  $\mu\text{g/kg}$ 之间。

表6 8种不同种类蜂蜜样品中砷元素的加标回收率和精密度( $n=5$ )Table 6 Recovery and RSD of 8 kinds of honey added As ( $n=5$ )

地域	蜂蜜种类	添加水平(10 $\mu\text{g/kg}$ )		添加水平(15 $\mu\text{g/kg}$ )		添加水平(30 $\mu\text{g/kg}$ )	
		回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
江苏	油菜蜜	92.1	5.5	90.9	6.1	91.3	5.9
河南	荆条蜜	94.2	5.9	93.4	6.2	95.2	4.4
新疆	葵花蜜	104.6	2.9	99.8	3.1	103.2	2.4
宁夏	棉花蜜	93.6	4.2	94.8	7.7	96.2	5.9
吉林	椴树蜜	89.5	5.5	89.7	5.0	92.3	5.9
陕西	枣花蜜	91.7	3.9	92.0	4.1	93.3	4.1
山东	洋槐蜜	104.3	4.7	105.2	5.3	109.6	5.1
内蒙	荞麦蜜	83.7	5.3	88.2	4.7	87.7	4.6

## 4 结 论

本研究以优化后的微波消解-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定蜂蜜中的砷, 考查了国内大量蜂蜜和大量大米糖浆中砷的含量, 验证了以砷含量来鉴定蜂蜜中是否掺有大米糖浆的方法是可行可靠的, 为检测蜂蜜中的大米糖浆掺假提供了一个新方法。

### 参考文献

- [1] GB/T 5009.11-2003 食品中总砷及无机砷的测定[S].  
GB/T 5009.11-2003 Determination of total arsenic and abio-arsenic in foods [S].
- [2] 裴高璞, 史波林, 赵镭, 等. 蜂蜜质量市场动态及掺假检测方法现状分析[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 329-336.  
Pei GP, Shi BL, Zhao L, *et al.* Current situation analysis of quality market dynamics and detection methods for honey adulteration [J]. Food Sci, 2013, 34(15): 329-336.
- [3] GB/T 18932.1-2002 蜂蜜中碳-13 植物糖含量测定方法稳定碳同位素比率法[S].  
GB/T 18932.1-2002 Method for the determination of C-13 plant sugars in honey-Stable carbon isotope ratio method [S].
- [4] SN/T 0448-2011 进出口食品中砷、汞、铅、镉的检测方法电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法[S].  
SN/T 0448-2011 Determination of arsenic, lead, mercury, cadmium in foodstuffs—ICP-MS method [S].
- [5] Williams PN, Price AH, Raab A, *et al.* Variation in arsenic speciation and concentration in paddy rice related to dietary exposure [J]. Environ Sci Technol, 2005, 39: 5531-5540.
- [6] Williams PN, Islam MR, Adomako EE, *et al.* Increase in rice grain arsenic for regions of bangladesh irrigating paddies with elevated arsenic in ground waters [J]. Environ Sci Technol, 2006, 40(16): 4903-4908.
- [7] 秦友燕, 何柳莹, 蔡江帆, 等. 2012 年某地区种植大米重金属污染状况[J]. 中国卫生检验杂志, 2014, 24(13): 1939-1944.  
Qin YY, He LY, Cai JF, *et al.* Heavy metal pollution situation in certain rice producing area in 2012[J]. Chin J Health Lab Technol, 2014, 24(13): 1939-1944.
- [8] 王远征, 滕曼, 杜心, 等. 北京市场大米和小麦面粉中砷的含量及其形态分析[J]. 环境化学, 2007, 26(6): 850-853.  
Wang YZ, Teng M, Du X, *et al.* Concentration and speciation of arsenic in rice grains and wheat flour from Beijing market[J]. Environ Chem, 2007, 26(6): 850-853.
- [9] 沈群超, 胡寅侠, 蒋开杰, 等. 慈溪地产大米重金属调查及其健康风险评估[J]. 中国稻米, 2013, 19(3): 79-81.  
Shen CQ, Hu YX, Jiang KJ, *et al.* Investigation of heavy metal in rice from Cixi and their health risk assessment [J]. Chin Rice, 2013, 19(3): 79-81.
- [10] 雷鸣, 曾敏, 王利红, 等. 湖南市场和污染区稻米中 As、Pb、Cd 污染及其健康风险评估[J]. 环境科学学报, 2010, 30(11): 2314-2320.  
Lei M, Zeng M, Wang LH, *et al.* Arsenic, lead, and cadmium pollution in rice from Hunan markets and contaminated areas and their health risk assessment [J]. Acta SciCircumstantiae, 2010, 30(11): 2314-2320.
- [11] 王利红, 刘静, 尹西翔, 等. 山东省南四湖地区水稻砷污染分析及食用风险评估[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 2222-2224.  
Wang LH, Liu J, Yin XX, *et al.* Analysis of arsenic contamination and assessment of health risks in rice from Nansihu district in Shandong Province[J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(4): 2222-2224.
- [12] 常建军. 西宁市售大米汞、砷污染状况及健康风险评估[J]. 江苏农业科学, 2010, (3): 390-391.  
Chang JJ. Mercury, arsenic pollution in rice sold in Xining and their health risk assessment [J]. Jiangsu Agric Sci, 2010, (3): 390-391.
- [13] Williams PN, Villada A, Deacon C, *et al.* Greatly enhanced arsenic shoot as simulation in rice leads to elevated grain levels compared to wheat and barley[J]. Environ Sci Technol, 2007, 41(19): 6854-6859.
- [14] 王永杰, 郑祥民, 周立旻. 稻米砷研究进展[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(3): 329-334.  
Wang YJ, Zheng XM, Zhou LM. A review on arsenic in rice[J]. Chin J Rice Sci, 2010, 24(3): 329-334.
- [15] 夏春, 高柱, 臧爱香. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定蜂蜜中多种元素[J]. 现代农业科技, 2013, 2: 278-279.  
Xia C, Gao Z, Zang AX. Determination of multiple element in honey by microwave digestion- Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) [J]. Mod Agric Sci Technol, 2013, 2: 278-279.

(责任编辑: 杨翠娜)

### 作者简介



桂茜雯, 本科, 工程师, 主要研究方向为食品中重金属的检测。  
E-mail: wendy\_gqw@aliyun.com