

## 液相色谱-同位素质谱法鉴定蜂蜜掺假

陈亚威<sup>1,2</sup>, 张业鹏<sup>1,2</sup>, 范志勇<sup>2,3</sup>

(1. 湖北工业大学机械工程学院, 湖北武汉 430068; 2. 湖北省现代制造质量工程重点实验室, 湖北武汉 430068; 3. 湖北省食品质量监督检验研究院, 湖北武汉 430068)

**摘要** [目的]探讨液相色谱-同位素质谱法(LC-IRMS)技术在蜂蜜掺假鉴定中的应用效果。[方法]采用LC-IRMS法检测随机抽样的62个蜂蜜样品,对蜂蜜中果糖(Fru)、葡萄糖(Glu)、二糖和三糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值进行测定。[结果]由于真实蜂蜜中果糖、葡萄糖、二糖和三糖的 $\delta^{13}\text{C}$ 的最大值与最小值的差值小于2.1‰,果糖、葡萄糖的 $\delta^{13}\text{C}$ 差值( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Fru}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Glu}}$ )为-1‰~1‰,且不得含有寡糖,所以该次检测样品中有48.38%的蜂蜜不合格,掺假掺杂以添加C-3植物源转化产物和淀粉糖浆为主,应加强对这类掺假的监控管理。[结论]LC-IRMS实现了蜂蜜中各种糖组分如果糖、葡萄糖、二糖和三糖等 $\delta^{13}\text{C}$ 的分离与分析,可进行添加了C-3糖浆的掺假鉴定,大大提高了蜂蜜掺假的检测能力。

**关键词** 液相色谱-同位素质谱;蜂蜜;掺假; $\delta^{13}\text{C}$ 值

**中图分类号** S896.1;TS207.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)07-0009-02

## Identification of Honey Adulteration by Liquid Chromatography-isotope Mass Spectrometry (LC-IRMS)

CHEN Ya-wei<sup>1,2</sup>, ZHANG Ye-peng<sup>1,2</sup>, FAN Zhi-yong<sup>2,3</sup> (1. School of Mechanical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan, Hubei 430068; 2. Key Lab of Modern Manufacture Quality Engineering, Wuhan, Hubei 430068; 3. Hubei Provincial Institute for Food Supervision and Test, Wuhan, Hubei 430068)

**Abstract** [Objective] The aim was to explore application of LC-IRMS technique in identification of honey adulteration. [Method] We detected 62 honey samples by LC-IRMS, and determined  $\delta^{13}\text{C}$  value of fructose, glucose, disaccharide and trisaccharide of honey. [Result] The difference of maximum and minimum  $\delta^{13}\text{C}$  of fructose, glucose, disaccharide and trisaccharide of true honey was less than 2.1‰, and  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Fru}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Glu}}$  was from -1‰ to 1‰, and there was no oligosaccharides, so 48.38% of samples was no qualified. The adulteration was mainly C-3 plant products and starch syrup, so the monitoring management of adulteration should be strengthened. [Conclusion] LC-IRMS realizes the  $\delta^{13}\text{C}$  isolation and analysis of fructose, glucose, disaccharide and trisaccharide of honey, so it can be used in the adulteration identification of C-3 syrup and can improve the detection capability of honey adulteration.

**Key words** Liquid chromatography-isotope mass spectrometry (LC-IRMS); Honey; Adulteration;  $\delta^{13}\text{C}$  value

蜂蜜是一种高品质的天然甜味剂,是由蜜蜂从花蜜或蜜露中生产出来的。蜂蜜主要含葡萄糖、果糖和蔗糖,还含有丰富的蛋白质、氨基酸、有机酸及多种维生素和矿物质等,特别含有多种活性酶类,如淀粉酶、蔗糖转化酶、过氧化氢酶和脂酶等。因此,蜂蜜是一种富有营养价值的天然食品<sup>[1]</sup>。近年来随着人民生活品质的提高,蜂蜜在国内外需求量不断增大。据统计,我国蜂蜜每年的销量远大于产量,蜂蜜掺假掺杂行为确实存在,尤以内销蜂蜜更为严重,且呈不断加重趋势。蜂蜜真实性鉴别成为当前急需解决的技术问题。

目前,测定蜂蜜掺假的主要方法有液相色谱示差折光检测法、薄层色谱法(TLC法)、糖类指纹图谱法、元素分析同位素比值质谱法和离子色谱法等<sup>[2]</sup>。对于目前市面上的掺假手段,如在蜂蜜中加入C-3或C-4植物糖浆,上述方法总有些局限性,耗时长、干扰多、灵敏度不高。利用稳定同位素技术鉴定蜂蜜掺假问题越来越得到商检质检等检测机构的关注。随着稳定同位素质谱技术的发展,以及连续流在线装置的集成化、多功能化和多样化,稳定同位素分析结果成为快速评鉴蜂蜜是否掺假的有力证据。液相色谱-同位素质谱法(LC-IRMS)采用液相色谱分离蜂蜜中的糖,测定蜂蜜中各种糖组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,测定结果与纯正蜂蜜中各糖组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值做对比,用来鉴别蜂蜜的真假,提高了试验效率和灵敏度。笔者采用LC-IRMS对62个蜂蜜样品进行了检测,旨在为蜂蜜掺假监控与管理提供参考。

## 1 材料与方法

## 1.1 材料

**1.1.1 仪器。**DELTA V Advantage 同位素质谱仪(Thermo Fisher公司);UltiMate3000 高效液相色谱仪(Thermo Fisher公司)与Isolink接口;Phenomenex Rezek RCM( $\text{Ca}^{2+}$ )色谱柱(300 mm × 8 mm, Thermo Fisher公司);0.45 μm 水相滤膜。

**1.1.2 试剂。**4%  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$  溶液和4%  $\text{H}_3\text{PO}_4$  溶液;超纯水(Millipore公司);He(高纯99.999%,载气); $\text{CO}_2$ (工作标准参气);蔗糖标准品; $\delta^{13}\text{C}$ 标准品(Caffeine)水溶液。

**1.1.3 样品。**蜂蜜样品:来自日常抽检样品(共62个样)。

**1.2 样品处理** 称取0.5 g蜂蜜样品,用超纯水溶解,定容至50 mL,过0.45 μm水相滤膜到进样瓶中供液相色谱-同位素质谱仪测定。同一蜂蜜样品分别配制成1、10 g/L蜂蜜稀释液,用于蜂蜜中果糖/葡萄糖 $\delta^{13}\text{C}$ 和二糖/三糖 $\delta^{13}\text{C}$ 的测定。

## 1.3 色谱和质谱条件

**1.3.1 色谱条件。**色谱柱为Phenomenex Rezek RCM( $\text{Ca}^{2+}$ ),洗脱剂为100%超纯水,流速为30 μL/min,样品溶液进样体积为10 μL,柱箱温度为70 °C。Acid Pump( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )和Ox. - Pump( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ )流速均控制在40 μL/min。

**1.3.2 质谱条件。**氧化炉温度99.9 °C;离子源:电子轰击离子源;轰击电压120.8 eV;扫描方式:正离子扫描;辅助气压力0.4 MPa;离子源电压2.97 kV;真空度 $2.0 \times 10^{-4}$  Pa。进样品测定时,每个样品的分析起始阶段和尾气阶段通入 $\text{CO}_2$ 参气进行系统稳定性评价。如果 $m/z$  44信号在1~2 V或更低,则 $\text{CO}_2$ 的本底测试通过<sup>[3]</sup>。如果 $m/z$  32信号在8~12 V,则 $\text{O}_2$ 的本底测试通过。

**作者简介** 陈亚威(1991—),男,湖北嘉鱼人,硕士研究生,研究方向:食品质量控制与检测。

**收稿日期** 2016-12-23

## 2 结果与分析

**2.1 液相色谱-同位素质谱法分析蜂蜜样品中各类糖组分的  $\delta^{13}\text{C}$  值** 如果蜂蜜是单一花种的纯正蜂蜜,其中含有果糖、葡萄糖、二糖和三糖的碳同位素值应十分接近。根据 Eiflein 等<sup>[4]</sup>和 Simsek 等<sup>[5]</sup>的研究报道,真实纯蜂蜜样品各类糖组分的  $\delta^{13}\text{C}$  值在  $-28.2\% \sim -22.5\%$ ,葡萄糖和果糖的  $\delta^{13}\text{C}$  值的差值为  $\pm 1\%$ ,果糖、葡萄糖、二糖和三糖的  $\delta^{13}\text{C}$  的最大值与最小值的差值小于  $2.1\%$ ,果糖葡萄糖的  $\delta^{13}\text{C}$  差值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Fru}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Glu}}$ ) 为  $-1\% \sim 1\%$ 。

由表 1 可知,果糖葡萄糖的  $\delta^{13}\text{C}$  差值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Fru}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Glu}}$ ) 不在  $-1\% \sim 1\%$  的有 5、6、7、47 号等 9 个样品,其中  $\delta^{13}\text{C}$  差值最小为  $2.4\%$ ,最大为  $3.5\%$ ,属于有掺假样品,这 9 个有掺假的样品经过其他方法提取时发现属于无蛋白或超低蛋白样品,由此判定若蜂蜜中无蛋白,那这种蜂蜜极可能为假蜂

蜜。而蜂蜜中各种糖组分最大值与最小值的差值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Max}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Min}}$ )  $< 2.1\%$  的有 12、14、17、44、56 等 22 个样品,也属于掺假样品,其中差值最大的达  $7.99\%$ ,在这些样品中,还有 15、17、18、44 这 4 个样品检测出寡糖,而真实蜂蜜中是不得检出寡糖的<sup>[6]</sup>,所以这些样品都存在掺假掺杂。结果显示,检测样品中共有 30 个掺假样品,占 62 份蜂蜜样品总数的  $48.38\%$ ,并且凡是样品蜂蜜中果糖、葡萄糖的  $\delta^{13}\text{C}$  差值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Fru}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Glu}}$ ) 不合格的,各种糖组分的差值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Max}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Min}}$ ) 也不合格;但蜂蜜中各种糖组分的差值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Max}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Min}}$ ) 不合格的,果糖、葡萄糖的  $\delta^{13}\text{C}$  差值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{Fru}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Glu}}$ ) 可能合格,也可能不合格<sup>[7]</sup>。说明目前的掺假手段大多是针对二糖、三糖甚至寡糖的掺假,也就是直接加入了 C-3 植物源糖浆来掺假。

表 1 LC-IRMS 测定不同蜂蜜样品的定碳同位素比值

Table 1 The carbon isotope ratio of different samples of honey determined by LC-IRMS

样品 Samples	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Fru}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Glu}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{D}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{T}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{F-G}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Max-Min}}$	样品 Samples	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Fru}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Glu}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{D}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{T}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{F-G}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{Max-Min}}$
1	-27.44	-28.08	-29.91	-28.95	0.60	2.47	32	-28.35	-28.59	-30.16	—	0.20	1.81
2	-26.24	-26.27	-27.52	-26.15	-0.10	1.69	33	-28.72	-28.62	-31.12	—	-0.10	2.51
3	-27.18	-28.73	-29.95	-30.11	1.50	2.37	34	-28.91	-28.65	-30.57	—	-0.30	1.92
4	-27.43	-27.79	-29.92	-29.12	0.40	2.50	35	-26.50	-26.34	-27.37	-27.87	-0.20	1.53
5	-23.21	-28.79	-27.74	—	5.60	5.58	36	-28.58	-28.31	-26.74	-22.22	-0.30	6.35
6	-25.96	-28.75	-29.32	—	2.80	3.36	37	-25.59	-25.48	-27.53	-28.64	-0.10	3.16
7	-26.96	-29.37	-28.94	—	2.40	2.41	38	-27.90	-28.06	-29.89	—	0.20	1.99
8	-26.35	-28.83	-29.75	—	2.50	3.40	39	-26.03	-25.80	-26.25	-24.56	-0.20	1.69
9	-26.80	-29.58	-30.03	—	2.80	3.32	40	-24.78	-24.41	-26.24	-24.81	-0.40	1.83
10	-29.97	-28.26	-29.47	-27.82	-1.70	2.15	41	-24.85	-24.53	-26.11	-25.25	-0.30	1.58
11	-26.37	-29.03	-28.47	—	2.70	2.66	42	-24.71	-24.31	-26.33	-24.65	-0.40	2.07
12	-26.30	-26.38	-30.25	-26.53	0.10	3.95	43	-28.26	-27.49	-26.79	—	-0.80	1.47
13	-27.83	-28.07	-27.48	-26.02	0.20	2.05	44	-26.32	-26.42	-28.28	-28.86	0.10	2.54
14	-27.81	-27.68	-28.50	-26.15	-0.10	2.35	45	-25.79	-25.46	-26.93	—	-0.30	1.46
15	-26.64	-26.50	-27.76	-25.93	-0.10	1.83	46	-29.45	-28.48	-21.46	—	-1.00	7.99
16	-29.10	-29.27	-29.87	—	0.20	0.77	47	-25.55	-28.93	-27.96	—	3.40	3.78
17	-27.28	-27.81	-28.49	-25.74	0.50	2.76	48	-25.53	-29.04	28.98	—	3.50	3.51
18	-28.88	-28.74	-30.31	-27.99	-0.10	2.33	49	-27.18	-27.29	-28.73	-27.02	0.10	1.72
19	-25.60	-25.90	-27.42	—	0.30	1.82	50	-28.71	-28.48	-30.09	—	-0.20	1.61
20	-26.52	-25.97	-31.17	-28.44	-0.60	5.21	51	-28.81	-29.16	-30.45	-28.23	0.30	2.22
21	-29.03	-28.82	-30.62	—	-0.20	1.80	52	-28.89	-28.57	-30.07	—	-0.30	1.50
22	-28.57	-28.82	-29.96	—	0.30	1.39	53	-28.08	-28.38	-29.50	-30.03	0.30	1.95
23	-29.06	-28.98	-30.82	—	-0.10	2.04	54	-28.77	-28.34	-30.04	-28.64	-0.40	1.71
24	-28.72	-28.78	-30.04	—	0.10	1.32	55	-29.01	-28.74	-30.01	-28.90	-0.30	1.27
25	-28.63	-28.63	-30.09	—	0.30	1.46	56	-24.99	-24.61	-29.52	-25.97	-0.40	3.55
26	-29.25	-28.90	-31.13	—	-0.40	2.23	57	-27.60	-27.48	-28.49	-24.86	-0.10	3.63
27	-28.70	-28.97	-30.07	—	0.30	1.37	58	-28.58	-28.22	-29.87	—	-0.40	1.65
28	-28.54	-28.80	-30.26	—	0.30	1.71	59	-27.84	-27.53	-28.79	-25.98	-0.30	2.81
29	-28.33	-28.39	-30.98	—	0.10	2.65	60	-27.16	-26.88	-28.08	-24.58	-0.30	3.50
30	-28.50	-28.22	-30.71	—	-0.30	2.49	61	-26.98	-26.67	-27.42	-24.25	-0.30	3.17
31	-28.98	-28.82	-30.93	—	-0.20	2.11	62	-26.31	-26.40	-26.51	-24.13	0.10	2.37

注“—”为未检出

Note: “—” indicated no detection

**2.2 LC-IRMS 法在蜂蜜掺假中的检测应用** 图 1 为使用 LC-IRMS 方法测定蜂蜜中各种糖组分的  $\delta^{13}\text{C}$  的离子流强度-时间图谱。蜂蜜试样中的各种糖组分经过 HPLC 在线

分离和 LC IsoLink 湿化学氧化,转化为  $\text{CO}_2$ , 分别进行同位素比质谱分析,在谱图上均显示为尖峰。谱图上显示纯正蜂蜜 (下转第 95 页)

- on, Maryland: Wildlife International Ltd, 2001.
- [27] LI M H. Toxicity of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoic acid to plants and aquatic invertebrates [J]. *Environmental toxicology*, 2009, 24 (1): 95–101.
- [28] SAKURAI T, SERIZAWA S, ISOBE T, et al. Spatial, phase, and temporal distributions of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in Tokyo Bay, Japan [J]. *Environmental science & technology*, 2010, 44(11): 4110–4115.
- [29] GULKOWSKA A, JIANG Q T, SO M K, et al. Persistent perfluorinated acids in seafood collected from two cities of China [J]. *Environ Sci Technol*, 2006, 40(12): 3736–3741.
- [30] LAU C, THIBODEAUX J R, HANSON R G, et al. Effects of perfluorooctanoic acid exposure during pregnancy in the mouse [J]. *Toxicological sciences an official journal of the society of toxicology*, 2006, 90 (2): 510–518.
- [31] DONG G H, ZHANG Y H, ZHENG L, et al. Chronic effects of perfluorooctanesulfonate exposure on immunotoxicity in adult male C57BL/6

mice. [J]. *Archives of toxicology*, 2009, 83(9): 805–815.

- [32] OAKES K D, SIBLEY P K, SOLOMON K R, et al. Impact of perfluorooctanoic acid on fathead minnow (*Pimephales promelas*) fatty acyl-coa oxidase activity, circulating steroids, and reproduction in outdoor microcosms [J]. *Environmental toxicology & chemistry*, 2004, 23 (8): 1912–1919.
- [33] 刘冰, 于麒麟, 金一和, 等. 全氟辛烷磺酸对大鼠海马神经细胞内钙离子浓度的影响 [J]. *毒理学杂志*, 2005, 19(S3): 225–226.
- [34] 姚晓峰, 仲来福. 全氟辛酸对 HepG2 细胞的遗传毒性及氧化性 DNA 损伤 [C]//中国毒理学会. 中国毒理学会第四届全国学术会议论文集 (摘要)集. 北京: 北京市预防医学研究中心, 2005: 216–217.
- [35] 胡芹. 全氟辛烷磺酸 (PFOS) 对斑马鱼胚胎发育及成鱼的毒性效应研究 [D]. 华中农业大学, 2009.
- [36] NAKAYAMA S, STRYNAR M J, HELFANT L, et al. Perfluorinated compounds in the cape fear drainage basin in North Carolina [J]. *Environmental science & technology*, 2007, 41(15): 5271–5276.

(上接第 10 页)

中三糖在 1 000 s 附近出峰, 二糖在 1 100 s 附近出峰, 葡萄糖在 1 300 s 附近出峰, 果糖在 1 700 s 附近出峰。

应用该方法检测来自 7 个不同企业共计 62 个抽检样品 (生产日期在 2015 年 12 月至 2016 年 6 月) 中, 共有 30 个样品不合格, 掺假占总数的 48.38%; 而利用已有的高效液相色谱法分析蜂蜜中还原糖及蔗糖含量, 结果显示只有 3 个样品不合格, 占样品总数的 4.84%; 利用薄层色谱法 (TLC 法) 测定蜂蜜中的高果淀粉糖浆, 结果显示有 16 个样品不合格, 占样品总数的 25.81%。说明应用 LC-IRMS 法在蜂蜜中的掺假检出率远高于原有的方法。且这些企业对检测结果没有提出申诉异议, 说明该方法准确有效。

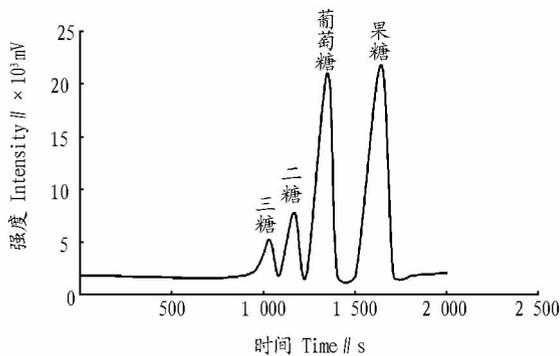


图 1 纯正蜂蜜 LC-IRMS 的离子流强度-时间色谱

Fig. 1 The intensity-time chromatogram of pure honey determined by LC-IRMS

**2.3 LC-IRMS 法测定精度** 在每次检测蜂蜜样品同时测定蜂蜜平行样品, 测定 62 个蜂蜜平行样品各种糖组分的  $\delta^{13}\text{C}$  值, 计算标准偏差。由表 2 可知, LC-IRMS 方法测定蜂蜜中各种糖组分  $\delta^{13}\text{C}$  值标准偏差为 0.1‰~0.4‰。二糖和三糖标准偏差比果糖、葡萄糖高些, 是由于二糖和三糖在蜂蜜中含量相当低, 所以要用 10 g/L 蜂蜜稀释液进行测定, 而果糖、葡萄糖的含量相对高些, 所以用 1 g/L 蜂蜜稀释液进行测定, 同时温度、湿度、色谱分离效果、系统不稳定等因素也存在造成偏差增大的可能性<sup>[8]</sup>。对于日常蜂蜜分析, LC-IRMS 法完全可以满足蜂蜜中果糖、葡萄糖、二糖和三糖  $\delta^{13}\text{C}$

值的测定。

表 2 LC-IRMS 法测定平行样品重现性数据

指标 Index	平均值 Average	标准偏差 Standard deviation	%
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Fr}}$	-27.43	0.11	
$\delta^{13}\text{C}_{\text{Gl}}$	-27.76	0.10	
$\delta^{13}\text{C}_{\text{D}}$	-27.98	0.25	
$\delta^{13}\text{C}_{\text{T}}$	-24.87	0.42	

### 3 结论

利用 LC-IRMS 法来检测随机抽样的 62 个蜂蜜样品, 对蜂蜜中果糖、葡萄糖、二糖和三糖  $\delta^{13}\text{C}$  值进行测定, 结果发现 30 份存在掺假掺杂, 占总数的 48.38%。掺假手段大多是针对 C-3 植物源的葡萄糖、果葡萄糖浆甚至多种物质混合掺假, 更具隐蔽性, 同时突出该方法的优越性和准确性。掺假蜂蜜在市场上大量存在, 形式多样, 应加强监控和管理。

### 参考文献

- [1] 费晓庆, 吴斌, 沈崇钰, 等. 液相色谱/元素分析 同位素比值质谱联用法鉴定蜂蜜掺假 [J]. *色谱*, 2011, 29(1): 15–19.
- [2] 中华人民共和国秦皇岛出入境检验检疫局. 蜂蜜中碳-4 植物糖含量测定方法稳定碳同位素比率法: GB/T 18932.1—2002 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [3] 丁涛. 液相色谱-同位素质谱联用法在蜂蜜掺假鉴定方面的应用 [C]//第四届华东地区色谱、质谱学术报告会论文集. 无锡: 江苏省分析测试协会, 2010.
- [4] ELFLEIN L, RAEZKE K P. Improved detection of honey adulteration by measuring differences between  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  stable carbon isotope ratios of protein and sugar compounds with a combination of elemental analyzer-isotope ratio mass spectrometry and liquid chromatography-isotope ratio mass spectrometry ( $\delta^{13}\text{C}$ -EA/LC-IRMS) [J]. *Apidologie*, 2008, 39(5): 574–587.
- [5] SIMSEK A, BILSEL M, GÖREN A C.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  pattern of honey from Turkey and determination of adulteration in commercially available honey samples using EA-IRMS [J]. *Food chemistry*, 2012, 130(4): 1115–1121.
- [6] PADOVAN G J, DE JONG D, RODRIGUES L P, et al. Detection of adulteration of commercial honey samples by the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  isotopic ratio [J]. *Food chemistry*, 2003, 82(4): 633–636.
- [7] 黄文诚. 用不同的方法检测高果糖玉米糖浆掺假的蜂蜜 [J]. *中国蜂业*, 2009, 60(9): 51–52.
- [8] 罗东辉, 罗海英, 洗燕萍, 等. 同位素质谱联用技术鉴别无蛋白蜂蜜的真实性 [J]. *现代食品科技*, 2012, 28(7): 862–866.