

# 麦卢卡蜂蜜质量评价研究进展

陈磊\*, 费晓庆, 张晓燕, 丁涛

(江苏出入境检验检疫局动植物与食品检测中心, 南京 210001)

**摘要:** 麦卢卡蜂蜜是新西兰特有的一种珍贵蜜种。由于其具有独特的非过氧化抗菌活性, 营养保健功能强大, 在我国的进口蜂蜜中所占的比重越来越大。但是, 目前国内对于麦卢卡蜂蜜的研究非常少, 这对于进口麦卢卡蜂蜜的监督监管将造成很大影响。由于麦卢卡蜂蜜是根据其抗菌活性高低进行质量评价和分级的。不同级别的麦卢卡蜂蜜价格差异巨大。近来, 虚假标示抗菌活性等级甚至完全没有抗菌活性的麦卢卡蜂蜜掺假现象时有发生, 急需国内进行相关研究并制订标准以进行监管。本文针对麦卢卡蜂蜜两个关键性质量评价指标, 非过氧化抗菌活性和甲基乙二醛的相关研究, 以及利用碳-4植物糖检测和筛选特征标志物方法用于麦卢卡蜂蜜掺假鉴别研究进行了综述。

**关键词:** 麦卢卡蜂蜜; 非过氧化抗菌活性; 甲基乙二醛; 掺假鉴别

## Development of research on quality evaluation of Manuka honey

CHEN Lei\*, FEI Xiao-Qing, ZHANG Xiao-Yan, DING Tao

(Animal, Plant and Food Inspection Center, Jiangsu Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Nanjing 210001, China)

**ABSTRACT:** Manuka honey is a kind of valuable honey, which exists uniquely in New Zealand. Because of it has unique non-peroxide antibacterial activity, the nutritional and health functions are powerful, Manuka honey has occupied an increasingly large proportion in the honey imported into China. But the research on manuka honey in China is very few. This will severely affect the supervision on imported Manuka honey. Manuka honey is quality evaluated and graded according to the antibacterial activity, thus the prices of different graded Manuka honey are very different. Recently, the events about Manuka honey adulteration are reported more often. Such as the false labeling of the antibacterial activity grade, even there is no antibacterial activity in "Manuka honey". This suggests that the research on Manuka honey is needed and the criterion should be worked out. In this paper, the research on non-peroxide antibacterial activity and methylglyoxal, which are the key parameters used in quality evaluation of Manuka honey, is reviewed. Moreover, the determination of carbon-4 plant sugars in honey and the screening of characteristics markers in Manuka honey for adulteration identification are discussed.

**KEY WORDS:** Manuka honey; non-peroxide antibacterial activity; methylglyoxal; adulteration identification

基金项目: 江苏出入境检验检疫局科研项目(2013KJ40)、江苏省大型科学仪器服务平台项目(BZ201302)、江苏省“333工程”科研项目(BRA2013276)

**Fund:** Supported by the Research Program of Jiangsu Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau (2013KJ40), the Program of Large Scientific Instrument Service Platform in Jiangsu Province (BZ201302) and the Research Program of 333 Engineering in Jiangsu Province (BRA2013276)

\*通讯作者: 陈磊, 博士, 主要研究方向为食品检测和食品掺假鉴定研究。E-mail: coffeecatchen@163.com

\*Corresponding author: CHEN Lei, Doctor, Animal, Plant and Food Inspection Center, Jiangsu Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, No. 99 Zhonghua Road, Nanjing 210001, China. E-mail: coffeecatchen@163.com

## 1 引言

近年来,我国从新西兰、澳大利亚、德国等国家进口的特色、高档蜂蜜越来越多,其中以新西兰麦卢卡蜂蜜为代表。麦卢卡(Manuka)蜂蜜是新西兰特有的一种珍贵蜜种,是蜜蜂采集新西兰特有的一种灌木植物——Manuka(*Leptospermum scoparium*)的花蜜酿造而成的。由于麦卢卡蜂蜜具有独特的抗菌活性,营养保健功能强大,已经越来越受到我国消费者的青睐。但是,目前国内对于麦卢卡蜂蜜的研究基本处于空白,这对于进口麦卢卡蜂蜜的监督监管,以及保障我国消费者的合法权益都会造成很大影响。本文对麦卢卡蜂蜜的独特抗菌活性及其物质基础,以及对麦卢卡蜂蜜的掺假鉴别研究进行综述,希望能对国内麦卢卡蜂蜜的研究提供一些帮助。

## 2 抗菌活性的研究

蜂蜜一般都具有抗菌活性,这是由蜂蜜本身的高渗透性、较强的酸度并且一般含有过氧化物造成的<sup>[1-5]</sup>。而麦卢卡蜂蜜的抗菌活性则不依赖于过氧化物,因此被称为非过氧化抗菌活性(non-peroxide antibacterial activity, NPA)。1991年, Molan 等<sup>[6]</sup>最早报道了这种抗菌活性的物质基础,并将其命名为麦卢卡独有因子(unique manuka factor, UMF)。由于并不清楚 UMF 的准确分子结构, Molan 等<sup>[6]</sup>采用微生物学方法对麦卢卡蜂蜜的 NPA 进行检测。

首先,用过氧化氢酶将蜂蜜中的过氧化物除去,再通过比较麦卢卡蜂蜜水溶液和一系列不同浓度的苯酚溶液对金黄色葡萄球菌的抑制程度,从而对麦卢卡蜂蜜的 NPA 进行评级,并标示为 UMF5+、UMF10+、UMF15+等等(数字表示苯酚溶液的浓度)。Adams 等<sup>[7]</sup>报道的 NPA 检测方法与 Molan 等的方法基本一致。

国内对麦卢卡蜂蜜抗菌活性的研究较少,并且一般是检测其总抗菌活性而非 NPA。例如,孙艳萍等<sup>[8]</sup>研究了 UMF25+、UMF10+两种等级的麦卢卡蜂蜜以及其他 7 种蜂蜜对铜绿假单胞菌的体外抗菌活性,结论为 9 种蜂蜜在体外均可抑制铜绿假单胞菌,进口蜜更佳。此外,国内也有文献<sup>[9-13]</sup>在对蜂蜜的抗菌疗效进行综述时提到,麦卢卡蜂蜜对难以愈合的伤口有很好的抗菌治疗效果。国外文献对于蜂蜜抗菌活性的报道则很多<sup>[14-16]</sup>,尤其是对于麦卢卡蜂蜜独特的非过氧化抗菌活性,国外学者已经进行了大量而全面的研究<sup>[17-23]</sup>。

由于麦卢卡蜂蜜抗菌活性的特殊性,不同等级的麦卢卡蜂蜜价格差异非常大。因为,蜂蜜一般都具有抗菌活性,而具有 NPA 的麦卢卡蜂蜜却是少之又少。因此,一些蜂蜜生产商往往故意混淆麦卢卡蜂蜜的总抗菌活性和 NPA。例如,在产品标签上标注 Active10+或类似字眼误导消费者。目前,我国对于麦卢卡蜂蜜的 NPA 还没有相关检测

标准,急需进行相关研究工作对进口麦卢卡蜂蜜进行监管。

## 3 甲基乙二醛的研究

2008年, Mavric 等<sup>[24]</sup>和 Adams 等<sup>[7]</sup>相继报道甲基乙二醛(methylglyoxal)可能是麦卢卡蜂蜜具有 NPA 的主要物质基础,并且发现麦卢卡蜂蜜中的甲基乙二醛含量与 NPA 的相关性高达 0.98。此后,有关麦卢卡蜂蜜中甲基乙二醛的相关研究报道越来越多,甲基乙二醛的含量已经逐渐与 NPA 同时被视为评价麦卢卡蜂蜜质量的关键指标。

甲基乙二醛的检测一般采用高效液相色谱法。由于甲基乙二醛紫外吸收弱,需衍生化反应后再进行检测。甲基乙二醛属于二羰基化合物, Weigel 等<sup>[25]</sup>报道二羰基化合物能与邻苯二胺反应生成喹噁啉类化合物,在反相色谱上有较好的保留,且紫外吸收强。Mavric 等<sup>[24]</sup>和 Oelschlaegel 等<sup>[26]</sup>建立的甲基乙二醛检测方法均是在 Weigel 等<sup>[25]</sup>报道的基础上进行了适度修改。基本过程为:将蜂蜜样品溶于水配成适当浓度的水溶液后,与适当浓度的邻苯二胺水溶液在室温避光条件下进行衍生化反应 8 h 以上,过滤膜后采用高效液相色谱法进行检测。

由于甲基乙二醛属于二羰基化合物,国内报道的检测方法主要集中在大气环境监测领域。李阳等<sup>[27]</sup>建立了一种五氟化苯胍衍生化-热解析-GC/MS 方法对大气中 23 种羰基化合物进行了测定。牟翠翠等<sup>[28]</sup>和冯艳丽等<sup>[29]</sup>分别报道了 2,4-二硝基苯胍衍生-高效液相色谱法,用于测定大气中二羰基化合物。邹婷等<sup>[30]</sup>采用五氟苯基胍衍生与 GC/MS 联用的方法分析了大气中的单羰基化合物和多羰基化合物。对于蜂蜜中甲基乙二醛的检测方法,目前国内文献仅见 1 篇。陈磊等<sup>[31]</sup>建立了邻苯二胺衍生-高效液相色谱法用于蜂蜜中甲基乙二醛的检测,并报道了不同 UMF 等级的麦卢卡蜂蜜以及中国蜂蜜中甲基乙二醛的含量情况。

虽然与微生物方法检测 NPA 相比,高效液相色谱法检测甲基乙二醛更简便、方法稳定性和结果重复性更好,并且可以准确定量,但是仍然存在很多问题。Adams 等<sup>[32]</sup>报道,麦卢卡蜂蜜中的甲基乙二醛由麦卢卡花蜜中的二羟基丙酮(dihydroxyactone)转化而来。但是其他研究者随后发现,通过对蜂蜜样品进行加热<sup>[33]</sup>或加压<sup>[34]</sup>处理,二羟基丙酮转化为甲基乙二醛的反应被增强,麦卢卡蜂蜜的抗菌活性和甲基乙二醛的含量也随之升高。这就使得通过检测 NPA 和甲基乙二醛对麦卢卡蜂蜜进行质量评价变得不那么可靠。

## 4 碳 4 植物糖的检测

2013年8月,英国食品标准局发布消费警示,要求各地监管部门重点检查新西兰麦卢卡蜂蜜,因为经过检测发现一些麦卢卡蜂蜜中根本不含活性抗菌物质。麦卢卡蜂蜜掺假问题变得亟待解决。

目前在世界范围内已获得广泛认可的蜂蜜掺假检测技术是采用碳同位素方法检测碳 4 植物糖<sup>[35]</sup>。方法的基本原理是: 蜜蜂采集花蜜的植物一般是碳 3 植物, 而经常用于蜂蜜掺假的高果糖玉米糖浆来源于碳 4 植物。两者的碳同位素数值有较大差异。检测蜂蜜的  $\delta^{13}\text{C}$  值和蜂蜜中蛋白的  $\delta^{13}\text{C}$  值后, 按照公式计算碳 4 植物糖含量。如果含量大于 7%, 则认为该蜂蜜中掺有碳 4 植物糖。

早在 2010 年, Rogers 等<sup>[36]</sup>就发现, 尽管来源非常可靠, 但麦卢卡蜂蜜却经常出现碳 4 植物糖假阳性结果。该研究者认为蜂蜜中的花粉是导致这一问题的主要原因, 建议在检测麦卢卡蜂蜜的碳 4 植物糖时, 应预先将花粉过滤除去。随后, Frew 等<sup>[37]</sup>对这一修正建议进行了验证, 但是结果表明去除花粉并不能完全解决麦卢卡蜂蜜的碳 4 植物糖假阳性问题。2014 年, Rogers 等<sup>[38]</sup>通过实验证明, 麦卢卡蜂蜜中二羟基丙酮转化为甲基乙二醛的过程是导致碳 4 植物糖假阳性问题的主要原因, 这也可以解释抗菌活性高的麦卢卡蜂蜜更容易出现假阳性的现象。因此, Rogers 等<sup>[39]</sup>建议在检测麦卢卡蜂蜜的碳 4 植物糖时, 将检测方法的限量放宽到 13%。但是, 这一建议目前尚未得到认可。

## 5 特征标志物的检测

如上所述, 通过检测碳 4 植物糖对麦卢卡蜂蜜进行掺假鉴别存在尚未解决的问题。而且, 并不仅仅只是针对麦卢卡蜂蜜, 这一掺假鉴别方法本身也存在很大的局限性。例如, 用来源于碳 3 植物的糖浆用于掺假, 或者用其他价格较低的蜂蜜冒充麦卢卡蜂蜜时, 同位素方法将无法鉴别。对此, 通过检测麦卢卡蜂蜜中的一组特征标志物, 从而对麦卢卡蜂蜜进行鉴别的方法报道逐渐增多。

作为麦卢卡蜂蜜特殊抗菌活性的主要物质基础, 已经有不少文章报道甲基乙二醛是麦卢卡蜂蜜的关键性特征标志物。Stephens 等<sup>[40]</sup>比较了麦卢卡蜂蜜和卡卢卡(Kanuka, 新西兰蜂蜜品种)蜂蜜中甲基乙二醛的含量。Arena 等<sup>[41]</sup>检测了意大利 12 种不同植物来源的 40 个蜂蜜样品中甲基乙二醛的含量。Marshall 等<sup>[42]</sup>比较了麦卢卡蜂蜜和来自于佛罗里达州不同地域的蜂蜜中酚类化合物和二羰基化合物的含量。陈磊等<sup>[31]</sup>比较了麦卢卡蜂蜜与中国不同地区不同花种来源的蜂蜜中甲基乙二醛的含量。结果均发现, 甲基乙二醛在麦卢卡蜂蜜中的含量远远高于其他蜂蜜, 是麦卢卡蜂蜜的特征成分。

除甲基乙二醛外, 也有文章报道发现其他化合物可以作为麦卢卡蜂蜜的特征标志物。Stephens 等<sup>[40]</sup>报道 2-甲基苯甲酸和三甲基苯甲酸是麦卢卡蜂蜜的特征成分。Kato 等<sup>[43,44]</sup>报道丁香酸甲酯的一种新型糖苷类化合物 Leptosin 只存在于麦卢卡蜂蜜和大洋洲地区特有的一种灌木蜜(jelly bush honey)中。Oelschlaegel 等<sup>[26]</sup>采用化学计量学方法, 首先利用串联质谱方法对蜂蜜样品进行非靶标性全扫

描分析, 然后利用统计学软件对筛选出的化合物进行统计分析。结果发现, 曲酸、5-甲基-3-咪喃甲酸、Leptosin、2-甲基苯甲酸、4-甲基苯乳酸、3-羟基-1-(2-甲氧基苯基)-1,4-二酮和丁香酸甲酯能用于鉴别麦卢卡蜂蜜。Moniruzzaman 等<sup>[45]</sup>比较了多种马来西亚蜂蜜以及麦卢卡蜂蜜中 6 种矿物元素和 5 种微量元素的含量, 并进行主成分分析, 结果发现麦卢卡蜂蜜中钙元素的含量显著高于其他蜂蜜。Beitlich 等<sup>[46]</sup>对麦卢卡蜂蜜、卡卢卡蜂蜜以及澳大利亚灌木蜜中的不挥发性成分和挥发性成分进行了非靶标性全扫描分析, 筛选出多种特征标志物。此外, Gresley 等<sup>[47]</sup>和 Langford 等<sup>[48]</sup>分别采用扩散序谱-核磁共振方法和选择性离子流动管质谱方法对麦卢卡蜂蜜的特征标志物进行了筛选。与国外文献的大量报道相比, 国内在这一方面的研究报道则非常少<sup>[49,50]</sup>。

如上所述, 通过筛选特征标志物对麦卢卡蜂蜜进行鉴别已经有一些进展, 但是尚未形成一个稳定可靠、实用性强、能够被广泛认可的标准方法。除了糖浆掺假之外, 其他种类的蜂蜜用于麦卢卡蜂蜜掺假也经常存在, 而且后者往往更难进行鉴别。因此, 麦卢卡蜂蜜掺假鉴别研究任重而道远。

## 6 总 结

综上所述, 麦卢卡蜂蜜作为具有特殊抗菌活性的珍贵蜜种, 在高端蜂蜜市场越来越受到消费者的青睐。但是, 其质量评价标准及掺假鉴别技术目前还存在许多问题。国外研究者对此已经进行了比较多的研究, 但是国内在这一研究领域可以说基本是空白。本文综述了麦卢卡蜂蜜两个关键性质量评价指标, 非过氧化抗菌活性和甲基乙二醛的相关研究, 以及碳 4 植物糖检测和筛选特征标志物方法用于掺假鉴别研究, 希望能对国内麦卢卡蜂蜜的研究提供一些参考。

## 参考文献

- [1] 朱威, 胡福良, 李英华, 等. 蜂蜜的抗菌机理及其抗菌效果的影响因素[J]. 天然产物研究与开发, 2004, 16(4): 372-375.  
Zhu W, Hu FL, Li YH, *et al.* The antibacterial mechanism and the affected factors of honey [J]. Nat Prod Res Dev, 2004, 16(4): 372-375.
- [2] 玄红专, 胡福良. 过氧化氢与蜂蜜的抗菌活性[J]. 蜜蜂杂志, 2002, 9: 23-25.  
Xuan HZ, Hu FL. Hydrogen peroxide and the antibacterial activity of honey [J]. J Bee, 2002, 9: 23-25.
- [3] 朱威, 胡福良. 蜂蜜中的抗菌成分及其抗菌机理[J]. 蜜蜂杂志, 2003, 6: 5-6.  
Zhu W, Hu FL. The antibiotic constituents in honey and its antibacterial mechanism [J]. J Bee, 2003, 6: 5-6.
- [4] 徐瑞晗, 杨玉杉, 胡月婷, 等. 蜂蜜的抗氧化和抑菌活性研究进展[J]. 中国蜂业, 2010, 12: 33-34.  
Xu RH, Yang YS, Hu YT, *et al.* Research progress on the antioxidant and

- antibacterial activity of honey [J]. *Apiculture Chin*, 2010, 12: 33–34.
- [5] 吕效吾. 蜂蜜的抗菌效果[J]. *中国养蜂*, 1996, 1: 29–30.  
Lv XW. The antibacterial effects of honey [J]. *Apiculture Chin*, 1996, 1: 29–30.
- [6] Allen KL, Molan PC, Reid GM. A survey of the antibacterial activity of some New Zealand honeys [J]. *J Pharm Pharmacol*, 1991, 43(12): 817–822.
- [7] Adams CJ, Boulton CH, Deadman BJ, *et al.* Isolation by HPLC and characterisation of the bioactive fraction of New Zealand manuka (*Leptospermum scoparium*) honey [J]. *Carbohydr Res*, 2008, 343(4): 651–659.
- [8] 孙艳萍, 李萍. 不同品牌蜂蜜对铜绿假单胞菌的体外抗菌作用[J]. *职业与健康*, 2012, 28(19): 2366–2367.  
Sun YP, Li P. Antibacterial activity of honey against pseudomonas aeruginosa in vitro [J]. *Occup Health*, 2012, 28(19): 2366–2367.
- [9] 蒋琪霞, 申萍, 刘云, 等. 蜂蜜治疗感染性伤口的研究进展[J]. *护理研究*, 2005, 29: 2633–2635.  
Jiang QX, Shen P, Liu Y, *et al.* Research progress on honey to treat patients with infectious wound [J]. *Chin Nurs Res*, 2005, 29: 2633–2635.
- [10] 陈利鸿, 冉兴无. 蜂蜜局部治疗慢性难愈创伤的研究进展[J]. *华西医学*, 2009, 4: 1052–1054.  
Chen LH, Ran XW. Research progress on honey to treat chronic painless wound [J]. *J West China Med*, 2009, 4: 1052–1054.
- [11] 耿爱香. 蜂蜜换药促进压疮创面愈合的临床研究[D]. 天津: 天津医科大学, 2012.  
Geng AX. Clinical research on honey promote the wound healing of pressure sores [D]. Tianjin: Tianjin Medical University, 2012.
- [12] 耿爱香, 吴永红, 徐向英, 等. 蜂蜜辅料用于伤口治疗的研究进展[J]. *中华护理杂志*, 2013, 11: 1408–51.  
Geng AX, Wu YH, Xu XY, *et al.* Research progress on honey based dressing used to wound treatment [J]. *Chin J Nurs*, 2013, 11: 1408–51.
- [13] 谢红霞. 蜂蜜的抗菌特性及其在医学上的应用[J]. *海峡药学*, 2004, 4: 145–147.  
Xie HX. The antibacterial activity of honey and its application in the medicine [J]. *Strait Pharm J*, 2004, 4: 145–147.
- [14] Mandal S, Mandal MD, Pal NK, *et al.* Antibacterial activity of honey against clinical isolates of *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Salmonella enterica* serovar Typhi [J]. *Asian Pac J Trop Med*, 2010, 12: 961–964.
- [15] Mandal MD, Mandal S. Honey: its medicinal property and antibacterial activity [J]. *Asian Pac J Trop Biomed*, 2011, 2: 154–160.
- [16] Ayala G, Escobedo-Hinojosa WI, Cruz-Herrera CF, *et al.* Exploring alternative treatments for *Helicobacter pylori* infection [J]. *World J Gastroentero*, 2014, 6: 1450–69.
- [17] Schmidlin PR, English H, Duncan W, *et al.* Antibacterial potential of Manuka honey against three oral bacteria in vitro [J]. *Swiss Dent J*, 2014, 124(9): 922–924.
- [18] Hammond EN, Donkor ES, Brown CA. Biofilm formation of *Clostridium difficile* and susceptibility to Manuka Honey [J]. *BMC Complement Altern Med*, 2014, 14(1): 329.
- [19] Rupesh S, Winnier JJ, Nayak UA, *et al.* Evaluation of the effects of manuka honey on salivary levels of mutans streptococci in children: a pilot study [J]. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 2014, 32(3): 212–219.
- [20] Guthrie HC, Martin KR, Taylor C, *et al.* A pre-clinical evaluation of silver, iodine and Manuka honey based dressings in a model of traumatic extremity wounds contaminated with *Staphylococcus aureus* [J]. *Injury*, 2014, 45(8): 1171–1178.
- [21] Paramasivan S, Drilling AJ, Jardeleza C, *et al.* Methylglyoxal-augmented manuka honey as a topical anti-*Staphylococcus aureus* biofilm agent: safety and efficacy in an in vivo model [J]. *Int Forum Allergy Rhinol*, 2014, 4(3): 187–195.
- [22] Camplin AL, Maddocks SE. Manuka honey treatment of biofilms of *Pseudomonas aeruginosa* results in the emergence of isolates with increased honey resistance [J]. *Ann Clin Microbiol Antimicrob*, 2014, 13: 19.
- [23] Kronka JM, Cooper RA, Maddocks SE. Manuka honey inhibits siderophore production in *Pseudomonas aeruginosa* [J]. *J Appl Microbiol*, 2013, 115(1): 86–90.
- [24] Mavric E, Wittmann S, Barth G, *et al.* Identification and quantification of methylglyoxal as the dominant antibacterial constituent of Manuka (*Leptospermum scoparium*) honeys from New Zealand [J]. *Mol Nutr Food Res*, 2008, 52(4): 483–489.
- [25] Weigel K, Opitz T, Henle T. Studies on the occurrence and formation of 1,2-dicarbonyls in honey [J]. *European Food Research and Technology A*, 2004, 218(2): 147–151.
- [26] Oelschlaegel S, Gruner M, Wang PN, *et al.* Classification and characterization of manuka honeys based on phenolic compounds and methylglyoxal [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(29): 7229–7237.
- [27] 李阳, 邵敏, 陆思华. 热解析-GC/MS 方法测定大气中的羰基化合物[J]. *环境化学*, 2009, 28(5): 630–635.  
Li Y, Shao M, Lu SH. Measurement of ambient carbonyls by thermal desorption-GC/MS method [J]. *Environ Chem*, 2009, 28(5): 630–635.
- [28] 牟翠翠, 冯艳丽, 翟金清, 等. 2,4-二硝基苯肼衍生-高效液相色谱测定大气细粒子中二羰基类化合物[J]. *分析化学*, 2010, 38(11): 1573–1577.  
Mu CC, Feng YL, Zhai JQ, *et al.* Determination of dicarbonyl compounds in ambient fine particles by high performance liquid chromatography after 2,4-dinitrophenylhydrazine derivatization [J]. *Chin J Anal Chem*, 2010, 38(11): 1573–1577.
- [29] 冯艳丽, 牟翠翠, 付正茹, 等. 涂布 2,4-二硝基苯肼的环形溶蚀器/滤膜系统和高效液相色谱法检测大气中二羰基化合物[J]. *分析化学*, 2011, 39(11): 1653–1658.  
Feng YL, Mu CC, Fu ZR, *et al.* Determination of airborne dicarbonyls by annular denuder/ filter pack system coated with 2,4-dinitrophenylhydrazine and high performance liquid chromatography [J]. *Chin J Anal Chem*, 2011, 39(11): 1653–1658.
- [30] 邹婷, 冯艳丽, 付正茹, 等. 五氟苯基羟胺衍生与 GC/MS 联用分析大气中的单羰基化合物和多羰基化合物[J]. *环境科学学报*, 2012, 32(11): 2718–2724.  
Zou T, Feng YL, Fu ZR, *et al.* Determination of mono- and dicarbonyls in the atmosphere using gas chromatography/ mass spectrometry after PFBHA derivatization [J]. *Acta Sci Circum*, 2012, 32(11): 2718–2724.
- [31] 陈磊, 栾军, 费晓庆, 等. 高效液相色谱法检测新西兰 Manuka 蜂蜜中的甲基乙二醛[J]. *色谱*, 2014, 32(2): 189–193.  
Chen L, Luan J, Fei XQ, *et al.* Determination of methylglyoxal in Manuka honey of New Zealand by high performance liquid chromatography [J]. *Chin J Chromatogr*, 2014, 32(2): 189–193.
- [32] Adams CJ, Manley-Harris M, Molan PC. The origin of methylglyoxal in

- New Zealand manuka (*Leptospermum scoparium*) honey [J]. *Carbohydr Res*, 2009, 344(8): 1050–1053.
- [33] Atrott J, Haberland S, Henle T. Studies on the formation of methylglyoxal from dihydroxyacetone in Manuka (*Leptospermum scoparium*) honey [J]. *Carbohydr Res*, 2012, 361: 7–11.
- [34] Al-Habsi NA, Niranjan K. Effect of high hydrostatic pressure on antimicrobial activity and quality of Manuka honey [J]. *Food Chem*, 2012, 135(3): 1448–1454.
- [35] AOAC Official Method 998.12: C-4 plant sugars in honey [M], in *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 16th ed. 1999, AOAC International: Gaithersburg: MD, USA. 27–30.
- [36] Rogers KM, Somerton K, Rogers P, *et al.* Eliminating false positive C4 sugar tests on New Zealand Manuka honey [J]. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2010, 24(16): 2370–2374.
- [37] Frew R, McComb K, Croudin L, *et al.* Modified sugar adulteration test applied to New Zealand honey [J]. *Food Chem*, 2013, 141(4): 4127–4131.
- [38] Rogers KM, Grainger M, Manley-Harris M. The unique manuka effect: why New Zealand manuka honey fails the AOAC 998.12 C-4 sugar method [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(12): 2615–2622.
- [39] Rogers KM, Sim M, Stewart S, *et al.* Investigating C-4 sugar contamination of manuka honey and other New Zealand honey varieties using carbon isotopes [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(12): 2605–2614.
- [40] Stephens JM, Schlothauer RC, Morris BD, *et al.* Phenolic compounds and methylglyoxal in some New Zealand manuka and kanuka honeys [J]. *Food Chem*, 2010, 120(1): 78–86.
- [41] Arena E, Ballistreri G, Tomaselli F, *et al.* Survey of 1,2-dicarbonyl compounds in commercial honey of different floral origin [J]. *J Food Sci*, 2011, 76(8): C1203–1210.
- [42] Marshall SM, Schneider KR, Cisneros KV, *et al.* Determination of Antioxidant Capacities,  $\alpha$ -Dicarbonyls, and Phenolic Phytochemicals in Florida Varietal Honeys Using HPLC-DAD-ESI-MS(n.) [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(34): 8623–8631.
- [43] Kato Y, Umeda N, Maeda A, *et al.* Identification of a novel glycoside, leptosin, as a chemical marker of manuka honey [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(13): 3418–3423.
- [44] Kato Y, Fujinaka R, Ishisaka A, *et al.* Plausible authentication of manuka honey and related products by measuring leptosperin with methyl syringate [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(27): 6400–6407.
- [45] Moniruzzaman M, Chowdhury MA, Rahman MA, *et al.* Determination of mineral, trace element, and pesticide levels in honey samples originating from different regions of Malaysia compared to manuka honey [J]. *Biomed Res Int*, 2014, 2014: 1–10.
- [46] Beitlich N, Koelling-Speer I, Oelschlaegel S, *et al.* Differentiation of manuka honey from kanuka honey and from jelly bush honey using HS-SPME-GC/MS and UHPLC-PDA-MS/MS [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(27): 6435–6444.
- [47] Gresley AL, Kenny J, Cassar C, *et al.* The application of high resolution diffusion NMR to the analysis of manuka honey [J]. *Food Chem*, 2012, 135(4): 2879–2886.
- [48] Langford V, Gray J, Foulkes B, *et al.* Application of selected ion flow tube-mass spectrometry to the characterization of monofloral New Zealand honeys [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(27): 6806–6815.
- [49] 王锦梅, 程妮, 丰凡, 等. 单花种蜂蜜植物源黄酮标记物的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(1): 161–164.
- Wang JM, Cheng N, Feng F, *et al.* Research of flavonoids as botanical origin markers of monofloral honey [J]. *Food Fermentation Ind*, 2013, 39(1): 161–164.
- [50] 王锦梅. 洋槐蜜、油菜蜜和荆条蜜花源标识物的确定及应用[D]. 西安: 西北大学, 2014.
- Wang JM. Identification and application of the floral markers of acacia, rape and chaste honey [D]. Xi'an: Northwest University, 2014.

(责任编辑: 白洪健)

## 作者简介



陈磊, 博士, 主要研究方向为食品检测和食品掺假鉴定研究。

E-mail: coffeecatchen@163.com