

编者按：2012年和2013年，本刊均邀请刚获得资助的编委和审稿专家就申报项目所在领域的国内外进展进行简要综述，组织了2012年度和2013年度“国家自然科学基金项目进展”专题，受到各位编委和审稿专家的热烈响应，分四期共出版专题文章25篇。这些优秀论文的出版得到了广大读者的热烈欢迎，同时也产生了较大的影响，提高了本刊的学术影响力。在2014年度国家自然科学基金项目评审中，本刊编委和审稿专家又取得了优异的成绩。共有34名编委、52名审稿专家获得了项目资助，资助总经费超过8000万元。鉴于此，本刊再次组织了“2014年度国家自然科学基金项目进展”专题，邀请刚获得资助的编委和审稿专家就申报项目所在领域的国内外进展进行简要综述。本期重点共刊出南昌大学陈奕教授等专家介绍相关研究进展的7篇优秀稿件，涉及食品快速检测、食品营养与健康等方面的最新进展，以飨读者。

## NMR技术在橄榄油品质快速检测中的应用研究进展

陈奕<sup>1\*</sup>，甘蓓<sup>2</sup>，李敏<sup>3</sup>，吴辰<sup>1</sup>，梅江<sup>1</sup>，张志红<sup>1</sup>

(1. 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室，南昌 330047; 2. 江西省产品质量监督检测院，南昌 330047;  
3. 南昌大学科学技术学院，南昌 330029)

**摘要：**随着人们对橄榄油的质量安全和营养价值的重视，对其检测技术的要求也越来越高。核磁共振技术是近年来蓬勃发展起来的一种快速检测手段，具有快速、高效、无污染、无需繁琐的前处理、重现性高等优点，在许多领域得到广泛应用。本文介绍了国内外运用核磁共振技术(<sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, <sup>31</sup>P)对橄榄油进行品质评价(包括储存历史、氧化稳定性、风味营养品质等)及其掺伪检测的研究现状，并且分析了该技术应用于橄榄油品质检测时尚存在的问题和今后的研究方向。

**关键词：**橄榄油；核磁共振光谱；品质评价；掺伪检测

### Research progress in quality detection of olive oil by NMR spectroscopy

CHEN Yi<sup>1\*</sup>, GAN Bei<sup>2</sup>, LI Min<sup>3</sup>, WU Chen<sup>1</sup>, MEI Jiang<sup>1</sup>, ZHANG Zhi-Hong<sup>1</sup>

(1. State Key Lab of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China;  
2. Jiangxi Provincial Product Quality Supervision Testing College, Nanchang 330029, China;  
3. College of Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

**ABSTRACT:** As people pay more and more attention on the quality and nutrition value of olive oil, there is an urgent demand for a fast and accurate detection technology. Nuclear magnetic resonance technology is a fast detection method which is developed rapidly in recent years. Since it has the advantages of fast, effective, pol-

基金项目：国家自然科学基金项目(31471647, 21302086)、江西省青年科学家培养对象计划(20142BCB23005)

**Fund:** Supported by National Natural Science Foundation of China (31471647, 21302086), and Young Scientist Cultivation Plan of Jiangxi Province (20142BCB23005)

\*通讯作者：陈奕，副教授，主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: chenyi-417@163.com

\*Corresponding author: CHEN Yi, Associate Professor, State Key Lab of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China. E-mail: chenyi-417@163.com

lution-free and high reproducibility, it has been applied in many fields. In this paper, we reviewed in the field the deficiencies and precautions of the three NMR techniques ( $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{31}\text{P}$ ) used for the quality detection (including storage history, oxidation stability and nutrient quality) and authentication analysis of olive oil.

**KEY WORDS:** olive oil; NMR spectroscopy; quality assessment; authentication analysis

## 1 引言

橄榄油是指以油橄榄鲜果为原料制取的油脂,原产于地中海一带的希腊、意大利、西班牙等国家,已有 4000 多年的种植和食用历史<sup>[1]</sup>。橄榄油含有丰富的不饱和脂肪酸、角鲨烯、多酚、维生素等物质,是高血压、心脏病、动脉粥样硬化、高血脂等患者的理想保健营养油脂<sup>[2]</sup>,被称为“植物油皇后”、“液体黄金”,其在市场上的价格远远高于日常食用油。部分商家为了眼前利益导致市场上出现了严重的橄榄油掺假现象,如将大豆油、菜籽油、玉米油等低价油掺入橄榄油,更有甚者,在食用油中掺入非食用植物油,如餐饮业回收油和地沟油等。除此之外,还有将低级初榨橄榄油或橄榄果渣油添加到特级初榨橄榄油中。这些都严重影响橄榄油的特有品质和营养特征,不仅对人类健康构成了威胁,也严重影响了橄榄油市场的健康发展<sup>[3]</sup>。另外橄榄油的成分和营养风味受产地、生产工艺等因素影响也有一定变化,而且橄榄油富含油酸和亚油酸,储存期过长容易引发脂肪酸氧化酸败而影响其风味和营养品质,因此不同来源和储存期的橄榄油品质也存在很大的差异。因此橄榄油的品质评价(包括储存历史、氧化稳定性、风味营养品质等)及其掺伪检测是目前食品安全领域的关注热点之一。核磁共振技术是近年来蓬勃发展起来的一种快速检测手段,具有快速、高效、无污染、无需繁琐的前处理、重现性高等优点,在许多领域得到广泛的应用<sup>[4,5]</sup>。本文通过对 NMR 技术在橄榄油品质快速检测中的应用研究进行总结,旨在为进一步的研究工作提供一定的参考。

## 2 核磁共振技术的应用原理

根据核磁共振原理,采用特定的脉冲序列对样品中具有固定磁矩的原子核(如  $^1\text{H}$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{31}\text{P}$  等)进行激发,然后产生一串强度衰减的可检测感应信号。该弛豫信号强度与被测样品中所含核自旋数目成正比(定量基础),信号衰减过程与被测物质的成分结构密切相关(定性基础)<sup>[6]</sup>,通过数学方法对信号进行反演分析,可获得其他手段难以得到的各种成分和微观结构信息。因此利用 NMR 信号可以反映样品的化学结构、分子或原子的扩散系数、反应速率、化学变化以及其他性质。不同品种植物油的化学组成和含量不同,橄榄油掺假后或品质变化后也必然导致其化学组成与含量的改变,从而在核磁共振谱上表现出较大的区分度,这为利用核磁共振谱检测橄榄油的品质和掺伪程度提

供了可能。

## 3 核磁共振技术在橄榄油品质评价中的应用

### 3.1 橄榄油氧化程度的监测

橄榄油在贮藏中遇到的主要问题是油脂的氧化酸败,其实质就是油脂在光、热、氧气等条件下,与氧气反应首先生成氢过氧化物初级产物,随着氧化程度的加深,氢过氧化物不稳定,又进一步分解生成次级氧化产物,比如小分子的醛或酮类化合物<sup>[7]</sup>。因此,通过定时测定橄榄油的初级和次级氧化产物  $^1\text{H}$  NMR 谱,就可以监测橄榄油的氧化过程。初级氧化产物即氢过氧化物的质子信号位于  $\delta 8.0$ 、 $\delta 8.5$ ,而饱和、不饱和醛类的质子信号分别位于中场(6~8 ppm)和高场(8~10 ppm)频率范围<sup>[8-11]</sup>,所以这些信号峰可以作为指标来检测橄榄油的氧化程度。

Skiera 等利用位于 9~11 ppm 的过氧化物信号峰来计算几种油脂中过氧化物的含量,并与常规的滴定法测出的过氧化值进行比较,结果发现在某些食用油中两者具有良好的吻合性,但是在橄榄油中出现了较大的偏差,原因可能与橄榄油中含有一些酚类物质如羟基酪醇的干扰有关<sup>[10]</sup>。Guillèn 和 Ruiz<sup>[12]</sup>通过在 180℃ 下对橄榄油加热 30~90 min 后,测定所有可能的初级和次级氧化产物的  $^1\text{H}$  NMR 化学位移来检测橄榄油的氧化过程。但是这个研究是在高温下进行的,而植物油氧化实质上是一个低温缓慢的过程,需要很长一段时间(12~24 个月)。这些研究结果忽略了各天然抗氧化剂在其正常的氧化过程中的作用,不能准确地预测植物油货架寿命,因此急需建立一种新的更准确的评价方法。

### 3.2 橄榄油氧化稳定性的评价

橄榄油的氧化稳定性,也可以定义为它的抗氧化性,主要归功于橄榄油中含有的各种抗氧化产物。在橄榄油氧化过程中,除了上述生成的氧化产物的检测外,还可以通过测定抗氧化产物浓度随时间的变化,如酚类化合物、维生素 E 等,来预测和确定橄榄油的稳定性。有科学家<sup>[13]</sup>通过测定烯烃或二烯丙基质子与脂肪族质子的  $^1\text{H}$  NMR 强度比,作为一种半定量指标测定橄榄油的氧化速度。尽管测定的结果基本与经典的油脂氧化稳定性指标如碘值、过氧化值、羰基、茴香胺值等吻合<sup>[13]</sup>,但是这些研究的主要问题是他们仅专注于单一的某个或某类代谢产物,而橄榄油的抗氧化稳定性是一个更复杂的现象,因为橄榄油中含有

多种抗氧化物质,它的抗氧化稳定性不仅仅来源于其中的单一抗氧化物质,而是取决于各种不同的抗氧化产物,而且它们相互之间还可能具有协同作用。而 NMR 指纹图谱技术的出现正好可以弥补这一缺陷, NMR 指纹图谱技术主要建立在对物质成分的系统研究之上,以评价样品质量的真实性和稳定性。

Hidalgo<sup>[14]</sup>、Zamora<sup>[15]</sup>和 Dais<sup>[16]</sup>等先后利用 <sup>13</sup>C NMR、<sup>1</sup>H NMR 指纹图谱分析手段对一批储存过程中的橄榄油进行实时测定,获得能够代表橄榄油各种特征的图谱数据资料(包括主要化合物及微量次级代谢产物的信号),然后通过各种数学统计学以及计算机模拟方法学如主成分分析(PCA)、逐步线性回归分析(SLRA)等来捕捉和分析这些信号随储存时间的细微变化,找出对橄榄油氧化稳定性起主要贡献的所有特征峰(如脂肪酸、甘油三酯组成、酚类化合物、生育酚等化合物等),并获得它们与油脂氧化稳定性之间的数学关系,最后可以根据贡献峰峰度值大小直接对橄榄油氧化稳定性进行预测。

### 3.3 橄榄油储存历史的检测

橄榄油储存历史是关乎其新鲜度品质的一个重要指标。新鲜的橄榄油中主要含有甘油三酯,随着储存时间的延长,甘油三酯被降解为 sn-1,2-甘油二酯,并释放出游离脂肪酸,sn-1,2-甘油二酯又进一步逐渐转变成更稳定的 sn-1,3-甘油二酯,所以 sn-1,2-甘油二酯在橄榄油中的浓度会不断下降<sup>[17]</sup>。同时由于甘油二酯磷酸可以衍生转化为二氧磷杂环戊烷衍生物(dioxaphospholane derivatives),这为采用 <sup>31</sup>P NMR 法测定甘油二酯含量的研究提供了可能。Spyros 等<sup>[18]</sup>采用 <sup>31</sup>P NMR 法首先对橄榄油中甘油二酯的形成及其异构化进行动力学分析,测定它们的水平和变化规律,并建立橄榄油储存时间和其中甘油二酯动态变化的关联模型。基于这个模型,可以通过橄榄油中 sn-1,2-甘油二酯与 sn-1,3-甘油二酯的浓度比,或 sn-1,2-甘油二酯与总甘油二酯(即 sn-1,2-甘油二酯和 sn-1,3-甘油二酯的总和)的浓度比,直接预测出橄榄油的储存时间和货架寿命。

### 3.4 橄榄油营养品质的测定

橄榄油的营养功能主要与其脂肪酸组成有关,研究表明橄榄油富含单不饱和脂肪酸油酸,而饱和脂肪酸比例却很低。除此之外,健康的橄榄油还应该不含反式脂肪酸。Dais 等已经利用 <sup>13</sup>C NMR 光谱结合 2D NMR(HSQC, HMBC, TOCSY)对橄榄油中的不同脂肪酸成分进行了定性和定量测定<sup>[19]</sup>。Sacchi<sup>[20]</sup>和 Vlahov<sup>[21]</sup>等研究发现,在橄榄油的 <sup>13</sup>C NMR 光谱中,顺式和反式脂肪酸异构体的烯丙基和/或烯基的峰的分度很好,因此可以利用 <sup>13</sup>C NMR 光谱结合化学计量学方法对顺式和反式脂肪酸同时测定,并将其作为衡量橄榄油营养品质的一个指标。

其他微量营养化学成分如酚类、甾醇、水等也可以通

过 <sup>31</sup>P NMR 进行同时测定<sup>[22]</sup>,如 Spyros and Dais<sup>[23]</sup>采用 <sup>31</sup>P NMR 法对橄榄油中的总甾醇、甘油二酯进行了含量测定,结果与化学测定值关联度好。Hatzakis 和 Dais<sup>[24]</sup>采用标记后的二苯基次膦酰氯置换水分子中的氢原子后,利用 <sup>31</sup>P NMR 对橄榄油中的水分进行快速测定。尽管该方法条件温和,快速准确,重现性好,但是对油品造成了破坏,所以未来还需要继续开发出无损的快速测定方法。

### 3.5 橄榄油掺伪检测

对橄榄油掺假进行检测,最佳的办法就是快速鉴定出只在掺假的橄榄油中含有的某种标志物。有了这个标志物,就能充分证明可疑的橄榄油是真正的纯橄榄油与否。然而当橄榄油与其他普通植物油(如玉米油,大豆油,葵花籽油)混掺时,由于各种植物油的脂肪酸种类都非常类似,目前并未能发现这种独特的代谢产物。由于缺少这种标志物,在采用 NMR 光谱对橄榄油掺假进行检测时,目前只能对纯橄榄油和掺假橄榄油的谱峰信号进行一一对比,以期找出差异峰<sup>[25-29]</sup>。比如,相对于橄榄油来说,大豆油和菜籽油中含有大量的亚麻酸,因此如果橄榄油中掺入大豆油或菜籽油时,<sup>1</sup>H NMR 光谱中亚麻酸的甲基质子的信号强度就会明显的增强<sup>[25]</sup>。另外,也可以通过 <sup>13</sup>C NMR 光谱来计算亚麻酸和油酸的含量比来鉴定其真伪,因为在橄榄油中亚麻酸和油酸的羰基或烯基的信号比一般为 0.1,如果这个值大于 0.1,就说明橄榄油中掺入了其他植物油<sup>[30]</sup>。

但是上述的 NMR 检测方法并不能准确鉴定掺假的植物油种类和掺假量,而且也不能完全适合于所有的掺假植物油的检测,比如精炼的榛子油的脂肪酸组成和比例基本类似于橄榄油,因此并不适合用脂肪酸组成比来进行检测<sup>[31]</sup>。考虑到精炼的榛子油中的微量化合物如多酚、甾醇等含量明显低于橄榄油,而 <sup>31</sup>P NMR 光谱法化学位移宽、灵敏度高,非常适合检测这些微量物质<sup>[32]</sup>。因此, Agiomyrgianaki 等<sup>[33]</sup>通过将 <sup>1</sup>H NMR 和 <sup>31</sup>P NMR 联合应用的同时辅以化学计量学方法如 stepwise canonical discriminant analysis (CDA) and the classification binary trees (CBTs)来准确判断精炼橄榄油是否掺有精炼榛子油。Vigli 等<sup>[34]</sup>将 <sup>1</sup>H NMR 和 <sup>31</sup>P NMR 联合使用后结合多维分析,能有效鉴别希腊地区 13 种植物油(榛子油、葵花油、玉米油、大豆油、芝麻油、核桃油、杏仁油、棕榈油、红花油、椰油和希腊不同产地的初榨橄榄油),并且通过建立以 1,2-甘油二酯、1,3-甘油二酯、1,2-甘油二酯与甘油二酯的比例、酸度、碘值和脂肪酸组成作为变量的分类模型,结合 DA 分析能对不同种类的掺假油进行准确区分,检出含量低至质量分数 5%。除以上各研究方法外,也有研究者如 García-González 等<sup>[35]</sup>通过采用 <sup>1</sup>H 和 <sup>13</sup>C 谱结合人工神经网络法检测橄榄油中是否掺有榛子油(2%~20%)。

#### 4 结论与展望

随着消费者对高质量橄榄油需求的日益增加, 橄榄油品质和真伪的快速鉴别将成为未来的研究热点之一。NMR 技术与其他传统检测方法相比, 具有操作简单快速、测量精确和重复性高等优点, 可作为一种快速筛选方法。但是目前研究结果表明, 仅仅依靠单一的  $^1\text{H}$ 、 $^{13}\text{C}$  或  $^{31}\text{P}$  NMR 光谱都很难对橄榄油品质进行完全准确的判定, 将以上各种 NMR 光谱联用法用于橄榄油掺假鉴别是一种新颖有效的方法, 它代表了植物油分类研究的一个新方向。

橄榄果的来源和质量直接影响橄榄油质量, 然而目前基于 NMR 技术的橄榄油品质检测的研究几乎全部直接以精炼橄榄油为研究对象, 并未见对橄榄果进行质量控制的研究报道, 因此对橄榄果品质的监控研究有可能成为未来橄榄油质量控制的间接途径之一。

另外, 由于 NMR 光谱具有数据量大、信息复杂等特点, 需要与化学计量学相结合, 才能最终有效地对橄榄油品质进行检测。因此在今后橄榄油品质控制研究中, 如何将这些 NMR 光谱数据有效处理应用, 也将成为未来研究的重要方向。

#### 参考文献

- [1] GB 23347-2009 橄榄油、油橄榄果渣油[S].  
GB 23347-2009 Olive oil and olive pomace oil [S].
- [2] 于长青. 橄榄油的化学组成及对人体的营养价值[J]. 食品科技, 2000, (2): 59-60.  
Yu CQ. Chemical composition of olive of olive oil and its nutrient value [J]. Food Sci Technol, 2000, (2): 59-60.
- [3] 林远辉, 高蓓, 李玉玉, 等. 橄榄油掺假鉴别技术研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 279-283.  
Lin YH, Gao B, Li YY, *et al.* Research progress in identification of olive oil adulteration [J]. Food Sci, 2013, 34(5): 279-283.
- [4] 周凝, 刘宝林, 王欣. 核磁共振技术在食品分析检测中的应用[J]. 食品工业科技, 2011, 32(1): 325-329.  
Zhou N, Liu BL, Wang X. Application of nuclear magnetic resonance technology in food analysis and detection [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, 32(1): 325-329.
- [5] 邵小龙, 宋伟, 李云飞. 粮油食品低场核磁共振检测技术研究进展[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(7): 114-118.  
Shao XL, Song W, Li YF. Research process of low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) detection technology in grain and oil food [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2013, 28(7): 114-118.
- [6] 阮榕生. 核磁共振技术在食品和生物体系中的应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.  
Ruan RS. Application of nuclear magnetic resonance technology in the field of food and biology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009.
- [7] 周胜强. 油脂氧化酸败的主要诱因-光氧化[J]. 粮油储藏, 2003, (2): 28-30.  
Zhou SQ. The main incentive of oil oxidized deterioration and rancidity--photo oxidation [J]. Grain Oil Storage, 2003, (2): 28-30.
- [8] Skiera C, Steliopoulos P, Kuballa T, *et al.*  $^1\text{H}$ -NMR spectroscopy as a new tool in the assessment of the oxidative state in edible oils [J]. J Am Oil Chem Soc, 2012, 69: 1383-1391.
- [9] Frankel EN. Chemistry of extra virgin olive oil: adulteration, oxidative stability, and antioxidants [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58: 5991-6006.
- [10] Guillèn MD, Ruiz A. Formation of hydroperoxy- and hydroxyalkenals during thermal oxidative degradation of sesame oil monitored by proton NMR [J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2004, 106: 680-687.
- [11] Guillèn MD, Ruiz A. Study by means of  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance of the oxidation process undergone by edible oils of different natures submitted to microwave action [J]. Food Chem, 2006, 56: 665-674.
- [12] Guillèn MD, Ruiz A. High resolution  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance in the study of edible oils and fats [J]. Trend Food Sci Technol, 2001, 12: 328-338.
- [13] Alonso Salces RM, Holland MV, Guillo C.  $^1\text{H}$ -NMR fingerprinting to evaluate the stability of olive oil [J]. Food Control, 2011, 22: 2041-2046.
- [14] Hidalgo FJ, Gómez G, Navarro JL, *et al.* Oil stability prediction by high-resolution  $^{13}\text{C}$  nuclear magnetic resonance spectroscopy [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50: 5825-5831.
- [15] Zamora R, Gómmez G, Hidalgo FJ. Classification of vegetable oils by high-resolution  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy using chromatographically obtained oil fractions [J]. J Am Oil Chem Soc, 2002, 79: 267-272.
- [16] Dais P, Spyros A.  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy in the quality control and authentication of extra-virgin olive oil: A review of recent progress [J]. Magn Res Chem, 2007, 45: 367-377.
- [17] Fronimaki P, Spyros A, Christophoridou S, *et al.* Determination of the diglyceride content in Greek virgin olive oils and some commercial olive oils by employing  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50: 2207-2213.
- [18] Philippidis A, Spyros A. Kinetics of diglyceride formation and isomerization in virgin olive oils by employing  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy formulation of a quantitative measure to assess olive oil storage history [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52: 157-164.
- [19] Dais P. Handbook of olive oil: analysis and properties [M]. New York: Springer, 2012.
- [20] Sacchi R, Adeo F, Paolillo L. An overview on  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR of olive oil [J]. Magn Res Chem, 1997, 35: S133-S145.
- [21] Vlahov G. Application of NMR to the study of olive oils [J]. Prog NMR Spectrosc, 1999, 35: 341-357.
- [22] Christophoridou S, Dais P. Detection and quantification of phenolic compounds in olive oil by high resolution  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance spectroscopy [J]. Anal Chim Acta, 2009, 633: 283-292.
- [23] Spyros A, Dais P. Application of  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy in food analysis. 1. quantitative determination of the mono- and diglyceride composition of olive oils [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48: 802-805.
- [24] Hatzakis E, Dais P. Determination of water content in olive oil by  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy [J]. J Agric Food Chem, 2008, 56: 1866-1872.
- [25] Faulh C, Reniero F, Guillou C.  $^1\text{H}$  NMR as a tool for the analysis of mixtures of virgin olive oil with oils of different botanical origin [J]. Magn Res Chem, 2000, 38: 436-443.
- [26] Mavroumoustakos T, Zervou M, Bonas G, *et al.* A novel analytical method to detect adulteration of virgin olive oil by other oils [J]. J Am Oil Chem Soc, 2000, 77: 405-411.

- [27] Zamora R, Alba V, Hidalgo FJ. Use of high-resolution  $^{13}\text{C}$  nuclear magnetic resonance spectroscopy for the screening of virgin olive oils [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2001, 78: 89–93.
- [28] Hatzakis E, Agiomyrgianaki A, Dais P. Detection and quantification of free glycerol in virgin olive oil by  $^{31}\text{P}$ -NMR spectroscopy [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2010, 87: 29–34.
- [29] Guillén MD, Ruiz A. Rapid simultaneous determination by proton NMR of unsaturation and composition of acyl groups in vegetable oils [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2003, 105: 688–696.
- [30] Luis Benitez-Sánchez P, León-Camacho M, Aparicio R. A comprehensive study of hazelnut oil composition with comparisons to other vegetable oils, particularly olive oil [J]. *Eur Food Res Technol*, 2003, 218: 13–19.
- [31] Fragaki G, Spyros A, Siragakis G, *et al.* Detection of extra virgin olive oil adulteration with lampante olive oil and refined olive oil using nuclear magnetic resonance spectroscopy and multivariate statistical analysis [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53: 2810–2816.
- [32] Hatzakis E, Koidis A, Boskou D, *et al.* Determination of phospholipids in olive oil by  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56: 6232–6240.
- [33] Agiomyrgianaki A, Petrakis PV, Dais P. Detection of refined olive oil adulteration with refined hazelnut oil by employing NMR spectroscopy and multivariate statistical analysis [J]. *Talanta*, 2010, 80: 2165–2171.
- [34] Vigli G, Philippidis A, Spyros A, *et al.* Classification of edible oils by employing  $^{31}\text{P}$  and  $^1\text{H}$  NMR spectroscopy in combination with multivariate statistical analysis—a proposal for the detection of seed oil adulteration in virgin olive oils [J]. *J Agric Food Chem*, 2003, 51: 5715–5722.
- [35] García-González DL, Mannina L, D’Imperio M, *et al.* Using  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR techniques and artificial neural networks to detect the adulteration of olive oil with hazelnut oil [J]. *Eur Food Res Technol*, 2004, 21: 545–548.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



陈奕, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品质量与安全。  
E-mail: chenyi-417@163.com