

氢核磁共振结合支持向量机鉴别蜂蜜植物源

周密^{1,2}, 王小花^{1,2}, 朱芊^{1,2}, 江丰^{1,2}, 王会霞^{1,2*}

(1. 湖北省食品质量安全监督检验研究院, 武汉 430000;

2. 湖北省食品质量安全检测工程技术研究中心, 武汉 430000)

摘要: **目的** 建立基于氢核磁共振(¹H nuclear magnetic resonance, ¹H NMR)结合支持向量机分类模型鉴别蜂蜜植物源的方法。**方法** 采集荆条蜜、油菜蜜、洋槐蜜、葵花蜜 4 种不同植物源的蜂蜜共计 122 例样品的谱图信息, 分全谱(δ 0.10~ δ 9.50)、脂肪区(δ 0.10~ δ 3.00)、糖类化合物区(δ 3.00~ δ 6.00)、芳香区(δ 6.00~ δ 9.50)4 个不同积分区间建立分类模型, 结合主成分权值系数筛选特征变量, 进一步优化判别模型。**结果** 基于主成分权值系数筛选变量范围 δ 3.40~ δ 3.90 和 δ 4.60~ δ 4.70 内共计 267 个积分变量, 以该区域积分变量为输入变量建立的支持向量机分类模型, 对训练集的判别正确率为 97.53%, 对测试集的判别正确率为 100%。**结论** 通过主成分权值系数能有效筛选特征变量, 减少输入变量的同时提高模型稳健性与准确性, 基于氢核磁共振结合支持向量机分类模型能有效鉴别不同植物源蜂蜜。

关键词: 氢核磁共振; 支持向量机; 蜂蜜; 植物源; 主成分

Identification of the botanic source of honey by ¹H nuclear magnetic resonance and support vector machine

ZHOU Mi^{1,2}, WANG Xiao-Hua^{1,2}, ZHU Qian^{1,2}, JIANG Feng^{1,2}, WANG Hui-Xia^{1,2*}

(1. Hubei Provincial Institute for Food Supervision and Test, Wuhan 430000, China; 2. Hubei Provincial Engineering and Technology Research Center for Food Quality and Safety Test, Wuhan 430000, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for identification of the botanic source of honey by ¹H nuclear magnetic resonance (¹H NMR) spectroscopy and support vector machine. **Methods** Spectral information of 122 samples were collected including 4 kinds of honey such as vitex honey samples, rape honey samples, acacia honey samples and sunflower honey samples. Classification models were established based on 4 different integration intervals including full spectrum (δ 0.10~ δ 9.50), fat zone (δ 0.10~ δ 3.00), carbohydrate zone(δ 3.00~ δ 6.00) and aromatic zone (δ 6.00~ δ 9.50), and the discriminant model was further optimized by screening feature variables with principal component weight coefficient. **Results** Based on the principal component weight coefficient, 267 integral variables were screened in the range of variables δ 3.40~ δ 3.90 and δ 4.60~ δ 4.70. The classification model of support vector machine was established with the regional integral variable as input variable, the discriminant accuracy of the training set was 97.53%, and the discriminant accuracy of the test set was 100%. **Conclusion** The weight coefficients of principal components can effectively pick the characteristic variables, reduce the input variables and

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1602304)、湖北省食品药品监督管理局项目(201802004)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Projects of China (2018YFC1602304), Project of Hubei Food and Drug Administration (201802004)

***通信作者:** 王会霞, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: whx097@126.com

***Corresponding author:** WANG Hui-Xia, Senior Engineer, Hubei Provincial Institute for Food Supervision and Test, Zone F, No. 666, Gaoxin Avenue, East Lake New Technology Development Zone, Wuhan 430000, China. E-mail: whx097@126.com

improve the robustness and accuracy of the model. The classification model based on ^1H NMR combines with support vector machine can identify honey from different plants effectively.

KEY WORDS: ^1H nuclear magnetic resonance; support vector machine; honey; botanic source; principal component

0 引 言

蜂蜜是蜜蜂采集植物的花蜜、分泌物或蜜露, 与自身分泌物混合后, 经充分酿造而成的天然甜物质^[1]。近年来, 随着消费水平提高, 人们对食品品质提出了更高的要求, 蜂蜜作为一种天然食品, 深受消费者喜爱。不同植物来源的蜂蜜, 其产品价格不同, 所具备的活性功能不同^[2], 然而, 受利益驱使, 蜂蜜掺杂使假的问题较多, 错误标识蜂蜜蜜源信息是常见的使假手段之一^[3], 此种行为扰乱了国内外行业市场秩序, 给蜂产业的可持续发展带来不利影响, 严重侵害了消费者的合法权益。

现阶段, 常采用感官检验法^[4]、花粉分析法^[5]和理化指标测试法^[6-7]进行蜂蜜品质分析。其中, 感官检验法存在一定主观性; 花粉分析法受外界环境影响大, 存在较大的不确定性; 而理化指标法更是难以区分蜂蜜真假, 甚至出现“指标蜜”的乱象^[8-9]。近年来, 随着仪器分析的发展, 有学者使用不同检测技术对蜂蜜品质进行控制, 以期规范蜂蜜市场秩序, 主要包括稳定碳同位素比率法^[10-11]、光谱技术^[12-13]、色谱技术^[14-15]等, 但这些检测方法只在一定范围内适用, 并且面对不断提升的造假掺假技术, 实际使用中更难以满足市场监管需求。

核磁共振(nuclear magnetic resonance, NMR)作为一种重要的分析测试技术, 在特定条件下对样品中所含各化合物的检测灵敏度相同^[9], 结合不同的数据处理方法, 能对乳粉、粮油、食醋^[16-18]等食品进行品质鉴别, 在食品分析领域应用广泛, 宋晓莹等^[19]基于氢核磁共振技术结合偏最小二乘判别模型对洋槐蜜、油菜蜜、荔枝蜜植物源属性判别, 预测能力达 90.5%。支持向量机(support vector machine, SVM)是基于统计学理论的一种新的核函数机器学习算法^[20], 与光谱信息相结合, 可实现咖啡豆产地、牛肉掺假等食品属性的有效判别^[21-22], 在鉴别分类中应用广泛。本研究采用核磁共振技术结合支持向量机分类模型, 充分发挥核磁共振氢谱中含有丰富化学信息和支持向量机具有较强泛化性的优势^[23], 实现对不同植物源蜂蜜的鉴别, 为规范蜂蜜市场提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 仪器与试剂

1.1.1 仪器与设备

AVANCE III 600 MHz 全数字化超导核磁共振谱仪(德国布鲁克公司); Purelab Chorus 超纯水系统(英国 ELGA 公

司); ME204 电子天平(上海梅特勒-托利多公司); WNB 29 恒温振荡水浴锅(德国 Memmert 公司); 827 型 pH 计(瑞士万通公司); V-32 涡旋混合器(英国 Grant 公司); Abbemat 350 自动折光仪(奥地利安东帕公司); 5810 离心机(德国 Eppendorf 公司); 5 mm 核磁管(美国诺雷尔公司)。

1.1.2 主要试剂

磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、叠氮化钠(分析纯, 中国医药集团有限公司); 重水(D_2O , 99.9%)、氘代三甲基硅烷(TMSP-D4, 98%)(美国 Cambridge Isotope Laboratories 公司); 水为超纯水。

1.1.3 实验样品

蜂蜜样品来源于武汉市蜂产品质量工程控制技术研究中心、武汉蜂之巢生物工程有限公司, 植物源属性明确。其中, 油菜蜜 43 例, 荆条蜜 51 例, 洋槐蜜 16 例, 葵花蜜 12 例, 共计 122 例, 测试前于 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 贮藏。

1.2 实验方法

1.2.1 溶液配制

磷酸盐缓冲溶液配制: 称取 28.00 g 磷酸氢二钠和 6.00 g 磷酸二氢钾, 溶解并调节 pH 至 7.40, 定容至 1000 mL。

内标防腐溶液配制: 称取叠氮化钠 6.5 mg 及 TMSP-D4 1000 mg, 用重水充分溶解并转移至 50 mL 容量瓶中, 定容至刻度。

1.2.2 NMR 样品制备

将样品恢复至室温, 充分摇匀。参照 SN/T 0852—2012《进出口蜂蜜检验规程》^[24], 利用自动旋光仪测定蜂蜜水分含量, 根据所得水分含量称取绝对质量为 5.00 g 的蜂蜜样品于 50 mL 离心管中, 加入 2 mL 磷酸盐缓冲溶液, 定容至 20 mL。涡旋 5 min 混匀样品, 3500 r/min 离心 10 min 后取上清液 3.6 mL, 加入 0.4 mL 内标防腐溶液, 混匀后移取 600 μL 至 5 mm 核磁管封管待测。

1.2.3 NMR 测试条件及数据处理

脉冲序列为 noesygppr1d, 采样点数 65536, 采样时间 3.9846 s, 扫描次数 32 次, 延迟时间 D1 为 4 s, 谱宽 13.70 ppm, 观察道中心频率偏置 4.696 ppm, 脉冲宽度 10.46 μs , 测定温度 298 K。

使用 MestReNova 软件对一维 ^1H NMR 数据进行处理, 指数线宽因子为 0.3 Hz, 自动相位校正和基线校正。内标 TMSP-D4 的共振峰设为 δ 0.00, 进行化学位移定标, 剔除 δ 4.73~ δ 4.93 区间的信号用以消除压制水峰残余信号的影响。采用峰面积归一化, 积分区间 δ 0.10~ δ 9.50, 积分间隔

为 δ 0.002, 得到归一化强度积分数据。

1.2.4 分类模型构建

采用 Kennard-Stone 法将 4 种植物源蜂蜜共计 122 例样品按 2:1 划分训练集和测试集, 利用训练集建立判别模型, 将测试集作为未知样品带入模型检验, 样品集划分具体见表 1。

表 1 样品集划分
Table 1 Division of sample sets

类别	样品数		合计
	训练集	测试集	
荆条蜜	34	17	51
葵花蜜	8	4	12
油菜蜜	29	14	43
洋槐蜜	10	6	16
合计	81	41	122

数据使用 Matlab 2016R 软件, 采用 CHANG 等^[25]开发, 王小川等^[23]优化的 LIBSVM 工具箱, 建立基于高斯核函数的 SVM 分类模型。

2 结果与分析

2.1 ^1H 谱图分析

利用 MestReNova 软件对样品信号进行傅里叶变换, 得到 4 种植物源蜂蜜的 ^1H NMR 谱图(图 1, δ 0.1~ δ 9.5)。图 1 中可以发现, 由于蜂蜜富含糖类化合物, 4 种蜂蜜在脂肪区(δ 0.10~ δ 3.00)和芳香区(δ 6.00~ δ 9.50)所含物质信号强度较低, 而在糖类化合物区(δ 3.00~ δ 6.00)具有较强的共振峰, 主要是蜂蜜中葡萄糖和果糖的信号。但仅通过谱图很难区别不同植物源蜂蜜之间的差异峰, 因此, 需要通过化学计量学分析对植物源属性作进一步判别。

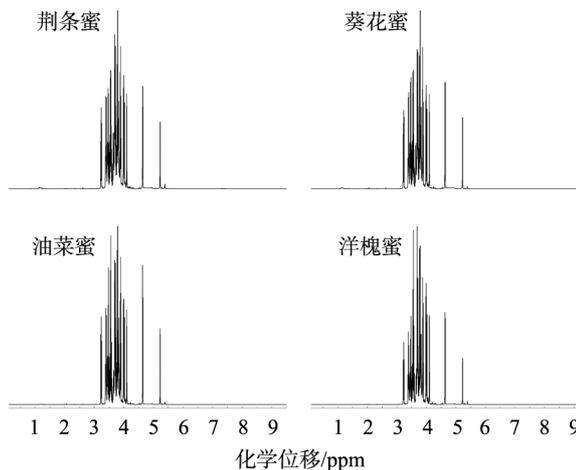


图 1 4 种蜂蜜的 ^1H NMR 谱(600 MHz)

Fig.1 Representative 600 MHz ^1H NMR spectra from 4 honey samples

2.2 SVM 分类模型

根据物质在谱图上的分布规律, 将一维 ^1H 谱分为 4 种积分区间。积分区间 A 范围为 δ 0.10~ δ 9.50, 即谱图全谱, 每个样品包含 4575 个变量; 积分区间 B 范围为 δ 0.10~ δ 3.00, 即脂肪区化合物, 每个样品包含 1450 个变量; 积分区间 C 范围为 δ 3.00~ δ 6.00, 即糖类化合物, 每个样品包含 1375 个变量; 积分区间 D 范围为 δ 6.00~ δ 9.50, 即芳香区化合物, 每个样品包含 1750 个变量。以各区积分数据作为模型输入变量, 分别建立 SVM 分类模型。将训练集和测试集数据进行 [0, 1] 归一化, SVM 模型参数为默认参数(惩罚参数 c 为 1, 核函数参数 g 的默认值为 $1/k$, k 是类别数), 将训练集进行 3-fold 交叉验证, 建立蜂蜜植物源分类模型, 将测试集带入模型验证, 判别结果见表 2。

表 2 不同积分区间下的 SVM 模型分类结果
Table 2 Classification results of SVM model under different integral intervals

积分区间	数据集	实际分组	预测分组				判别正确率/%	综合判别正确率/%
			荆条蜜	葵花蜜	油菜蜜	洋槐蜜		
A、B、D	训练集	荆条蜜	34	0	0	0	100.0	80.33
		葵花蜜	0	8	0	0		
		油菜蜜	0	0	29	0		
		洋槐蜜	0	0	0	10		
	测试集	荆条蜜	17	0	0	0	41.5	
		葵花蜜	4	0	0	0		
		油菜蜜	14	0	0	0		
		洋槐蜜	6	0	0	0		

表 2(续)

积分区间	数据集	实际分组	预测分组				判别正确率/%	综合判别正确率/%
			荆条蜜	葵花蜜	油菜蜜	洋槐蜜		
C	训练集	荆条蜜	34	0	0	0	100.0	81.97
		葵花蜜	0	8	0	0		
		油菜蜜	0	0	29	0		
		洋槐蜜	0	0	0	10		
	测试集	荆条蜜	17	0	0	0	46.3	
		葵花蜜	4	0	0	0		
		油菜蜜	12	0	2	0		
		洋槐蜜	6	0	0	0		

由表 2 可知, 4 种积分区间建立的 SVM 模型, 积分区间 C, 即仅以糖类化合物为输入变量的 SVM 模型, 测试集判别正确率略高于其他积分区间, 另外, 4 种积分区间对于训练集的判别正确率均为 100%, 而对于测试集的判别正确率均不足 50%, 可能是由于在建立 SVM 识别模型过程中, 输入变量过多, 导致模型过拟合, 因此, 需要对模型输入变量作筛选, 剔除冗余变量的同时, 提高模型稳健性和准确性。

2.3 变量筛选及模型优化

主成分分析是数据挖掘领域常用的一种统计与降维算法, 利用彼此不相关的综合变量代替数量较多的原始变量, 在降低维度的同时保留数据自身有价值的信息^[26], 各主成分相应的权值系数的绝对值与其相对应变量的贡献程度成正比^[27], 根据权值系数曲线图选择特征变量。对 122 例蜂蜜样品 ¹H NMR 谱图进行主成分分析, 贡献率见表 3, 前 3 个主成分累计贡献率达 83.80%, 能代表绝大部分样品信息。

通过前 3 个主成分权值系数(loading coefficient)曲线筛选特征变量, 如图 2, 前 3 个主成分在 δ 3.00~ δ 4.50 之间

主成分权值系数数值较大, 将权值系数绝对值进行排序, 取每个主成分权值系数绝对值前 5 的变量为特征变量, 其所对应的化学位移 δ 见表 4, 所筛选的特征变量均在 δ 3.40~ δ 3.90 以及 δ 4.60~ δ 4.70 范围内, 此积分区间主要为葡萄糖和果糖中 H 的振动信息^[8]。进一步以积分区间 δ 3.40~ δ 3.90 和 δ 4.60~ δ 4.70 范围内 267 个变量为输入变量建立 SVM 模型, 结果见图 3。

表 3 主成分贡献率
Table 3 Contribution rate of principal components

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
累计贡献率/%	41.79	67.46	83.80	89.70	94.07	96.86	97.78

表 4 基于权值系数选择的变量
Table 4 Selected variables based on loading coefficient

主成分	筛选变量 δ /ppm				
PC1	3.793	4.643	3.693	3.881	3.561
PC2	3.793	3.703	3.701	3.877	3.463
PC3	4.629	3.479	4.641	3.791	3.543

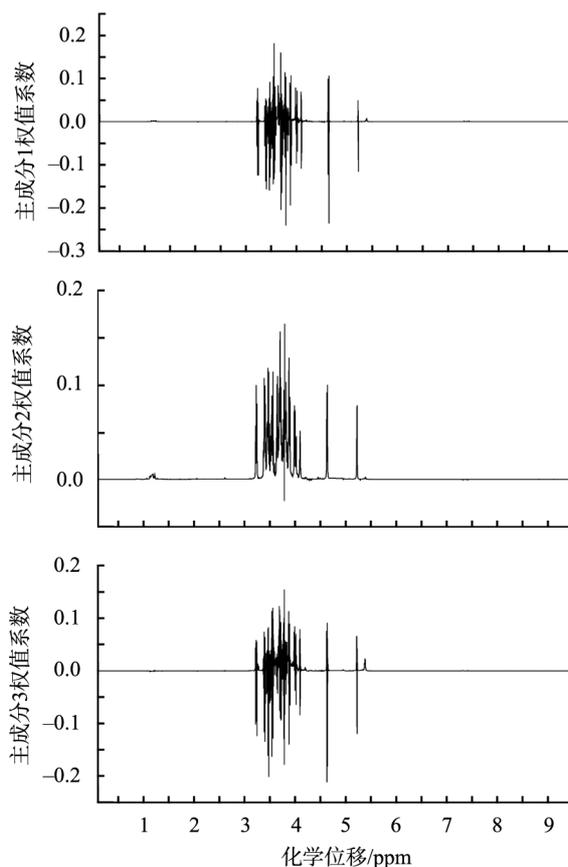


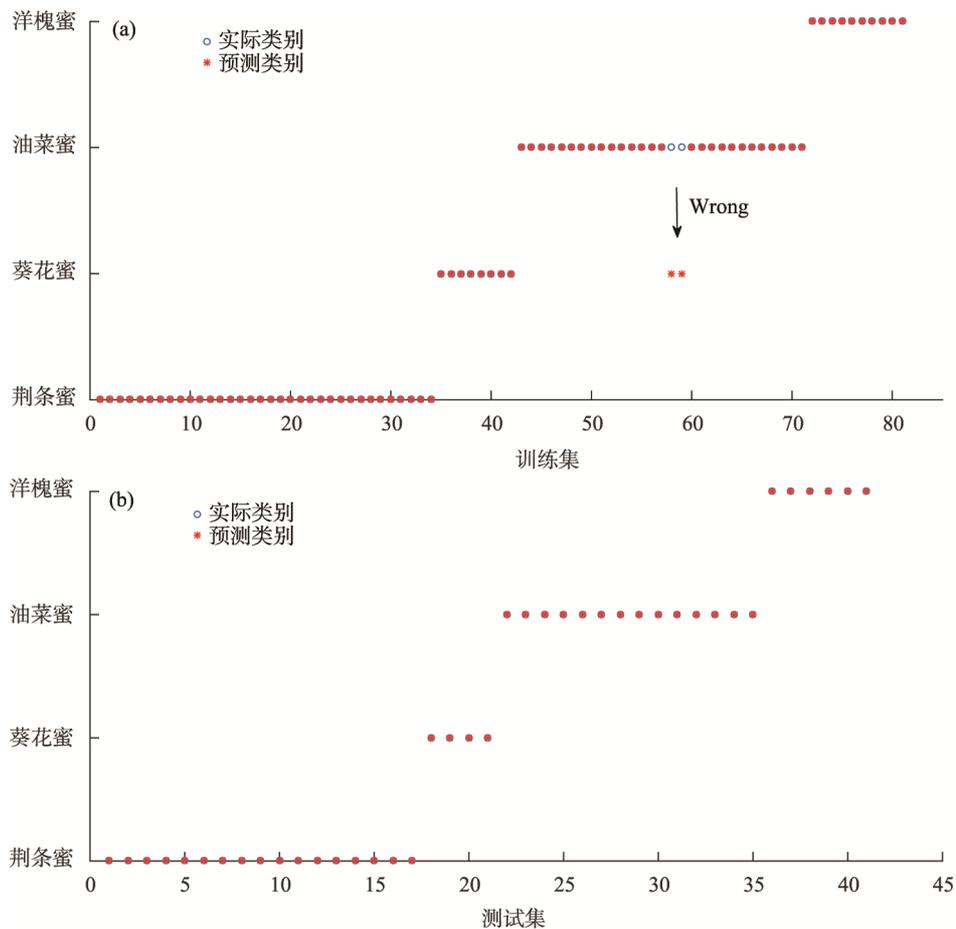
图 2 主成分权值系数图
Fig.2 Loading coefficient plot of PC

由图 3 可知, 训练集 81 例样品中, 有 2 例油菜蜜样品错误分类至葵花蜜中, 测试集 41 例样品全部分类正确, 提高模型准确率的同时, 有效减少输入变量, 综合判别正确率由 80.33% 提升至 98.36%, 且输入变量减少 94.16%, 由 4575 个减少至 267 个。

3 结 论

本研究采用 ^1H NMR 技术和 SVM 分类分析对 4 种蜂蜜作植物源归属, 有效建立了基于 ^1H NMR 谱图的 SVM 判

别模型, 能很好地区别 4 种蜂蜜植物源, 并在模型输入变量方面作筛选。通过主成分权值系数筛选对蜂蜜植物源分类影响较大的变量, 将积分范围 δ 3.40~ δ 3.90 和 δ 4.60~ δ 4.70 内 267 个变量建立 SVM 判别模型, 减少输入变量, 提高模型准确度和稳健性, 对训练集和测试集样品的判别正确率分别达 97.53% 和 100%, 能为蜂蜜植物源属性判别提供技术支撑。后续研究应进一步增加样本数容量、丰富模型, 明确不同植物源蜂蜜化学差异成分, 为监管部门提供依据。



注: (a)训练集; (b)测试集。

图 3 SVM 分类标签和真实标签图

Fig.3 SVM classification label and the actual label

参考文献

- [1] GB 14693—2011 食品安全国家标准 蜂蜜[S]. GB 14693—2011 National food safety standard-Honey [S].
- [2] JIANLING D, RUI L, QUN L, *et al.* Biochemical properties, antibacterial and cellular antioxidant activities of buckwheat honey in comparison to manuka honey [J]. *Food Chem*, 2018, 252: 243–249.
- [3] ERNA S, JOSÉ SDP, MARCO B, *et al.* Classification of 7 monofloral honey varieties by PTR-ToF-MS direct headspace analysis and chemometrics [J]. *Talanta*, 2016, 147: 213–219.
- [4] 张乔会, 黄晶晶, 田盼盼, 等. 感官及理化检测结合分析比较恩施土蜂蜜与市售蜂蜜[J]. *食品工业*, 2016, 37(7): 196–199. ZHANG QH, HUANG JJ, TIAN PP, *et al.* Analysis and comparison of Enshi area native honey and commercially available honey by the method of sensory evaluation combine with physicochemical detection [J]. *Food Ind*, 2016, 37(7): 196–199.
- [5] GB/T 23194—2008 蜂蜜中植物花粉的测定方法[S]. GB/T 23194—2008 Method for the determination of plant pollen in honey [S].
- [6] 陈兰珍, 叶志华, 赵静. 蜂蜜品种鉴别技术研究进展[J]. *食品科学*,

- 2008, 29(3): 494–498.
- CHEN LZ, YE ZH, ZHAO J. Review of variety identification in honey types [J]. *Food Sci*, 2008, 29(3): 494–498.
- [7] 鲍会梅. 真假蜂蜜理化指标的分析[J]. *食品科技*, 2010, 35(4): 284–288.
- BAO HM. Analysis on physical and chemical indicators of genuine honey and artificial honey [J]. *Food Sci Technol*, 2010, 35(4): 284–288.
- [8] 陈雷, 刘红兵, 罗立廷. 氢核磁共振结合正交偏最小二乘法对油菜蜜中果葡糖浆掺假的判别分析[J]. *食品科学*, 2017, 38(4): 275–282.
- CHEN L, LIU HB, LUO LT. Detection of honey adulteration with high fructose syrups using ^1H nuclear magnetic resonance and orthogonal partial least squares [J]. *Food Sci*, 2017, 38(4): 275–282.
- [9] 刘芸, 丁涛, 吴斌, 等. 核磁共振技术结合化学计量学方法用于蜂蜜的掺假鉴别[J]. *分析测试学报*, 2016, 35(10): 1248–1254.
- LIU Y, DING T, WU B, *et al.* Identification of honey adulteration by nuclear magnetic resonance technology and chemometrics method [J]. *J Instrum Anal*, 2016, 35(10): 1248–1254.
- [10] Chen CT, Chen BY, Nai YS, *et al.* Novel inspection of sugar residue and origin in honey based on the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio and protein content [J]. *J Food Drug Anal*, 2019, 27(1): 175–183.
- [11] GEANĂ EI, CORINA TC, DIANA C, *et al.* Evaluation of honey in terms of quality and authenticity based on the general physicochemical pattern, major sugar composition and $\delta^{13}\text{C}$ signature [J]. *Food Control*, 2020, 109: 106919.
- [12] DIDEM PA, SHOTTS ML, LUIS ER. Authentication of commercial honeys based on Raman fingerprinting and pattern recognition analysis [J]. *Food Control*, 2020, 117: 107346.
- [13] HUANG FR, SONG H, GUO L, *et al.* Detection of adulteration in Chinese honey using NIR and ATR–FTIR spectral data fusion [J]. *Spectrochim Acta Part A: Molecul Biomol Spectrosc*, 2020, 235: 118297.
- [14] WANG Q, ZHAO HA, ZHU M, *et al.* Method for identifying acacia honey adulterated by resin absorption: HPLC–ECD coupled with chemometrics [J]. *LWT–Food Sci Technol*, 2020, 118: 108863.
- [15] WANG SQ, GUO QL, WANG LL, *et al.* Detection of honey adulteration with starch syrup by high performance liquid chromatography [J]. *Food Chem*, 2015, 172(1): 669–674.
- [16] MARTI MB, KRISTIE MA, JAMES H, *et al.* Non–targeted detection of milk powder adulteration by ^1H NMR spectroscopy and conformity index analysis [J]. *J Food Compos Anal*, 2019, 78: 49–58.
- [17] OZREN J, KATARINA P, TOMICA H, *et al.* ^1H NMR adulteration study of hempseed oil with full chemometric approach on large variable data [J]. *Chemometr Intell Lab Systems*, 2019, 185: 41–46.
- [18] WANG XH, ZOU W, GHULAM MK, *et al.* An untargeted ^{13}C isotopic evaluation approach for the discrimination of fermented food matrices at natural abundance: Application to vinegar [J]. *Talanta*, 2020, 210: 120679.
- [19] 宋晓莹, 陈兰珍, 李熠, 等. 基于氢核磁共振技术和化学计量学方法鉴别蜂蜜品种[J]. *分析测试学报*, 2019, 38(3): 355–359.
- Song XY, Chen LZ, Li Y, *et al.* Classification of Chinese honeys of different floral origins by ^1H NMR combined with chemometrics [J]. *J Instrum Anal*, 2019, 38(3): 355–359.
- [20] CORTES C, VAPNIK V. Support–vector networks [J]. *Mach Learn*, 1995, 20(3): 273–297.
- [21] 胡晓华, 刘伟, 刘长虹, 等. 基于太赫兹光谱和支持向量机快速鉴别咖啡豆产地[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(9): 302–307.
- HU XH, LIU W, LIU CH, *et al.* Rapid identification of producing area of coffee bean based on terahertz spectroscopy and support vector machine [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2017, 33(9): 302–307.
- [22] 张丽华, 相启森, 李顺峰, 等. 基于支持向量机的近红外光谱技术鉴别掺假牛肉[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2016, 44(12): 201–205.
- ZHANG LH, XIANG QS, LI SF, *et al.* Identification of adulteration of minced beef with near infrared spectroscopy based on support vector machine [J]. *J Northwest A F Univ (Nat Sci Ed)*, 2016, 44(12): 201–205.
- [23] 王小川, 史峰, 郁磊, 等. MATLAB 神经网络 43 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013.
- WANG XC, SHI F, YU L, *et al.* MATLAB 43 case analysis of neural network [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2013.
- [24] SN/T 0852—2012 进出口蜂蜜检验规程[S].
- SN/T 0852—2012 Rules for the inspection of honey for import and export [S].
- [25] CHANG CC, LIN CJ. Libsvm: A library for support vector machines [J]. *ACM Trans Intell Systems Technol (TIST)*, 2011, 2(3): 27.
- [26] 吴鹏, 李颖, 李瑀, 等. 基于氨基酸的仿刺参产地信息认证方法研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2020, 40(9): 2809–2814.
- WU P, LI Y, LIU Y, *et al.* Study on the origin information authentication method of *apostichopus japonicus* based on amino acids [J]. *Spectrosc Spectr Anal*, 2020, 40(9): 2809–2814.
- [27] 樊阳阳, 裴正军, 陈俭, 等. 基于近红外高光谱成像技术的干制红枣品种鉴别[J]. *光谱学与光谱分析*, 2017, 37(3): 836–840.
- FAN YY, QIU ZJ, CHEN J, *et al.* Identification of varieties of dried red jujubes with near–infrared hyperspectral imaging [J]. *Spectrosc Spectr Anal*, 2017, 37(3): 836–840.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



周 密, 工程师, 主要研究方向为食品分析。
E-mail: 605791879@qq.com



王会霞, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。
E-mail: whx097@126.com