

坚果品质检测方法研究进展

摆小琴^{1,2}, 张娅俐^{1,2}, 洪晶^{1,2}, 田晓静^{1,2*}, 陈士恩^{1,2}, 马忠仁^{1,2}, 宋礼³, 罗丽³

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 兰州 730124; 2. 西北民族大学生物医学研究中心, 中国-马来西亚国家联合实验室, 兰州 730030; 3. 甘南牦牛乳研究院, 合作 747000)

摘要: 坚果含有优质蛋白质、脂肪等丰富的营养物质, 深受消费者喜爱。由于富含不饱和脂肪酸及油脂, 坚果的品质易受贮藏条件、加工方式及包装方式等外部因素的影响而发生变化, 不当的处理会加速其氧化哈败, 甚至产生对人体有害的毒素。另一方面, 坚果品质受产地、品种、土壤环境及遗传因素等方面的影响表现出不同的外观性状及理化特征。随着科学技术的发展, 坚果品质的检测趋向于无损、快速, 电子鼻在这方面有着突出的优势, 因此电子鼻对坚果品质的无损检测成为研究的新热点。本文从口感、色泽、风味、外观性状等感官检测, 营养品质(蛋白质、脂肪等)、油脂品质(酸价、过氧化值等)等理化检测, 光谱分析技术(近红外光谱、高光谱等)、电子鼻技术等快速检测方法, 综述了坚果品质检测方法的研究现状, 为坚果品质的监控和检测提供技术参考。

关键词: 坚果; 品质; 感官检测; 理化检测; 快速检测

Research progress on the quality detection methods for nuts

BAI Xiao-Qin^{1,2}, ZHANG Ya-Li^{1,2}, HONG Jing^{1,2}, TIAN Xiao-Jing^{1,2*}, CHEN Shi-En^{1,2},
MA Zhong-Ren^{1,2}, SONG Li³, LUO Li³

(1. Biomedical Research Center, Northwest Minzu University, Lanzhou 730124, China; 2. China Malaysia National Joint Laboratory, College of Life Science and Engineering, Northwest Minzu University, Lanzhou 730030, China; 3. Gannan Research Institute of Yak Milk, Hezuo 747000, China)

ABSTRACT: There are high quality protein, fat and other rich nutrients in nuts, deeply loved by consumers. Due to the rich unsaturated fatty acids and oils, the quality of nuts is easily affected by external factors such as storage conditions, processing methods and packaging methods, etc. Improper handling will accelerate their oxidation rancidity, and even produce harmful toxins to human body. On the other hand, nut quality is affected by producing area, variety, soil environment and genetic factors, showing different appearance and physical and chemical characteristics. With the development of science and technology, nut quality detection tends to be nondestructive and fast, electronic nose has outstanding advantages in this respect. Therefore, the non-destructive detection of nut quality by electronic nose has become a new research hotspot. This paper reviewed the research status of nut quality detection methods from sensory detection such as taste, color, flavor and external shape, physical and chemical detection such as nutritional quality (protein, fat, etc) and oil quality (acid value, peroxide value, etc) and rapid

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560477)、中央高校基本科研业务费项目(31920190022、31920210006)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31560477), and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (31920190022, 31920210006)

***通信作者:** 田晓静, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品、农产品品质检测研究。E-mail: smile_tian@yeah.net

***Corresponding author:** TIAN Xiao-Jing, Ph.D, Associate Professor, China-Malaysia National Joint Laboratory, Biomedical Research Center, Northwest Minzu University & College of Life Science and Engineering, Northwest Minzu University, No.99 Wuxie Yingshe, Xiaguanying Town, Yuzhong County, Lanzhou 730124, China. E-mail: smile_tian@yeah.net

detection methods such as spectral analysis technology (near infrared spectrum, hyperspectrum, etc) and electronic nose technology, so as to provide technical reference for nut quality monitoring and detection.

KEY WORDS: nuts; quality; sensory detection; physical and chemical detection; rapid detection

0 引言

坚果富含人体所需的优质蛋白质、脂肪、不饱和脂肪酸等营养物质,被美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)列为 B 级健康食品,深受消费者喜爱。研究表明坚果能有效调节血液中胆固醇含量,降低心脑血管^[1]、癌症^[2]等疾病的风险,且坚果消费与非致命性心肌梗死、心力衰竭、心房颤动和腹主动脉瘤的风险成反比关系^[3]。

坚果的品质受到加工方式、储藏条件、产地及品种等多方面因素的影响。适当的加工及储藏有助于提升坚果的口感及保持其营养价值,不当的加工方式及储藏条件不仅影响其感官品质而且降低了其营养价值及油脂品质,甚至会产生对人体有害的毒素^[4]。同时,受环境因素及遗传因素的影响,不同的产地及品种坚果的外观性状及理化特性也有差异。对坚果品质的监测有助于优化坚果加工、储藏的方式。目前,评价坚果品质的方法包括感官检测、理化检测和快速检测^[5]。其中,感官检测主要通过检测坚果色泽、风味、质地、大小等外观性状进行评价;理化检测则通过营养成分指标、油脂品质指标等对坚果品种、产地、新鲜度等进行评价;快速检测方法主要是将光谱技术、气味传感器技术应用于坚果品质新鲜度、品种和产地的检测。

本文从感官检测、理化检测及快速检测 3 个角度综述了坚果评价及监测的研究现状,为坚果品质控制提供参考。

1 坚果品质的感官检测研究现状

受产地、品种、加工及贮藏等影响,坚果品质存在差异。坚果大小、色泽、滋味、质地等感官品质是评价其品质的直观指标。

1.1 感官评定在坚果品质中的研究现状

加工方式、包装方式及储藏条件等对坚果感官品质的影响较大。适当的加工、包装、贮藏有助于保持或提升坚果感官品质,如 100 °C 炒制 60 min,花生色泽、滋味、气味得分最高^[6]。PET 铝塑复合膜包装在提高坚果保存时间的同时,还可以保持最佳的感官品质^[7]。但是不当的储藏会对坚果的色泽、滋味、质地等感官品质产生不良影响。AGNIESZKA 等^[8]发现榛子在 20 °C 储藏 18 个月后,出现酸味、发霉和苦味,杏仁出现发霉的味道。NAJAFI 等^[9]发现随着储藏时间的延长,开心果的硬度逐渐下降。坚果感官品质的评价有助于寻找更合适的加工方式及储藏条件,

保持其口感及风味,也可以初步判断坚果的新鲜度。虽然感官评价方法直接简便,但是主观性强、重复性差。

1.2 外观性状在坚果产地与品种判别中的研究现状

坚果的三径、重量、壳厚等外观性状指标因产地和品种的不同而不同^[10]。就产地而言,海拔高度^[11]、土壤养分、气候因子^[12]等是影响坚果外观性状的重要因素。费昭雪等^[13]发现山阳核桃果实纵径最大,镇安果实横径最大;柞水核桃的果实纵径表现最小,单果质量和仁质量最大。就品种而言,宋岩等^[14]发现‘新巨丰’核桃单果重最高,‘纸皮’核桃壳厚度极显著薄于其他品种。陈芮蝶等^[15]发现不同基因型核桃单果质量、壳厚度等感官品质存在较大遗传差异。不同产地及品种坚果外观性状的差异为追溯其产地与品种提供了鉴定方法。

2 坚果品质的理化检测研究现状

受加工及包装方式、储藏条件、产地及品种等影响,坚果中营养成分组成与含量发生变化,且会产生对人体有害的成分,如因氧化哈败导致过氧化物、游离脂肪酸增多,因霉变导致有害代谢物的产生等。通过营养成分、油脂品质指标的检测评价坚果的品质。

2.1 不同品质坚果营养成分的差异

坚果中的蛋白质、脂肪、矿物质等成分的检测可实现坚果新鲜度、产地与品种的判别,相关研究见表 1。

2.1.1 营养成分检测在坚果品质评价中的应用

适当加工有助于提升坚果营养价值、延缓营养成分的流失,如风干的板栗其总水溶性糖含量增加^[16],低剂量辐照(0.3~0.5 kGy)延缓了鲜核桃蛋白和脂肪的降解^[17]。而不当加工加快了坚果营养成分的流失,如蒸烤使腰果可溶性蛋白含量显著降低^[18]。储藏温度是影响坚果品质的重要因素,低温更有利于保持核桃的营养品质。刘晨霞等^[19]发现低温贮藏(5 °C)保持了核桃上架的营养品质;于江等^[20]发现低温(-2~0 °C)抑制了核仁内可溶性蛋白分解和脂肪酶活性,减缓了脂肪的流失。包装方式是影响坚果品质的重要原因之一,严芳等^[21]研究发现新纸袋加吸氧剂的包装方式可最大限度保持葵花籽的水分。适当的加工与储藏有利于坚果营养成分的保持,研究不同加工方式和储存条件对营养成分的影响有助于探索坚果较佳保藏、加工方式,延长其保质期、提高其价值。

2.1.2 不同产地及品种坚果营养成分的差异

不同产地及品种的坚果受光照、土壤条件、气候因子

及遗传因素等的影响, 其营养品质也有差异。就产地而言, 任传义等^[22]通过核桃中元素含量结合 PCA 及 LDA, 实现了不同产地核桃的鉴别。耿树香等^[23]发现不同产地漾濞泡核桃蛋白质、脂肪、脂肪酸等的含量也不同。就品种而言, 常君等^[24]发现浙江省金华市不同品种薄壳山核桃氨基酸组成存在较大差异。张俊环等^[25]研究发现不同杏种质种仁中的蛋白质、不饱和脂肪酸和钙质含量存在一定的差异。研究不同产地及品种坚果的营养成分有助于进行产地及品

种溯源。

2.2 油脂品质检测在坚果中的应用

坚果在储藏过程中, 受到光照、温度、氧气等方面的影响, 内部成分尤其是油脂逐渐氧化哈败, 致使游离脂肪酸、过氧化物增多, 酸价、过氧化值增大。油脂品质是评价坚果品质好坏的重要指标, 储藏温度越高, 时间越长, 氧气越充足, 其酸价、过氧化值等值越大。此外, 不同产地及品种的坚果油脂品质也不同。现有研究结果见表 2。

表 1 坚果营养成分的检测
Table 1 Determination of nutritional components of nuts

条件	样品	处理方法	检测指标	结果
加工方式	板栗	风干	水溶性糖	板栗风干后总水溶性糖增加 ^[16]
	鲜核桃	低剂量辐照(0.3~0.5 kGy)	蛋白质、脂肪	延缓了鲜核桃蛋白和脂肪的降解 ^[17]
	腰果	水煮、烤、油炸	氨基酸、脂肪、碳水化合物	水煮是保留腰果营养性较优的加工方式 ^[18]
温度	核桃	温度(temperature, T): 5、15、25 °C, 相对湿度(relative humidity, RH): 50%~60%	蛋白质、水分	5 °C是最好的储藏条件 ^[19]
	核仁	-2~0 °C、常温	蛋白质、脂肪	低温(-2~0 °C)抑制了核仁内可溶性蛋白分解和脂肪酶活性, 减缓了脂肪的流失 ^[20]
包装方式	葵花籽	普通纸袋加吸氧剂、普通纸袋不加吸氧剂、塑袋加吸氧剂、塑袋不加吸氧剂、新纸袋加吸氧剂、新纸袋不加吸氧剂	水分	新纸袋加吸氧剂的包装方式可最大限度保证产品品质 ^[21]
产地	核桃	杭州市不同产地	元素	通过元素含量结合主成分分析(principal components analysis, PCA)、线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)实现了不同产地的核桃 ^[22]
	核桃	普洱景东、临沧双江等	蛋白质、脂肪、脂肪酸	不同产地漾濞泡核桃营养物质含量也不同 ^[23]
品种	薄壳山核桃	江省金华市不同品种	氨基酸	不同品种薄壳山核桃氨基酸组成存在较大差异 ^[24]
	杏仁	普通杏、普通杏变种、西伯利亚杏、紫杏、仁用杏、属间杂交种质	蛋白质、不饱和脂肪酸和钙质含量	不同杏种质种仁中的蛋白质、不饱和脂肪酸和钙质含量存在一定的差异 ^[25]

表 2 坚果油脂品质的检测
Table 2 Determination of oil quality of nuts

条件	样品	处理方法	检测指标	结果
温度	核桃	(0、-1、-20 °C、先-40 °C冷冻 48 h 后转移至-20 °C)	过氧化值	-20 °C为实验条件下核桃果实的适宜冻藏温度 ^[26]
	核桃	85 °C和 135 °C下烤制	酸价、过氧化值	温度越高, 酸价、过氧化值越高 ^[27]
加工方式	榛子	DM ₁ 和 DM ₂ 干燥方式	过氧化值、碘值	DM ₁ 干燥方式中过氧化值更低, 碘值更高 ^[28]
包装方式	核桃	真空、真空脱氧、充氮气和充气脱氧包装	过氧化值、酸价	真空脱氧包装处理能有效抑制核桃的氧化酸败 ^[29]
产地	纸皮和薄皮核桃	新疆、云南、河北、山西、陕西、山东等 6 个产区	碘值、过氧化值、酸值	不同地域核桃的碘值、过氧化值、酸值有显著差异 ^[30]
品种	核桃	温 185、扎 343 等	酸价、过氧化值	不同品种的核桃的油脂品质也不同 ^[31]
	青皮核桃	湘北‘西扶 2 号’‘陕核短枝’‘维纳’等	过氧化值、羰基价	过氧化值和羰基值因品种不同而呈不同变化趋势 ^[32]

2.2.1 油脂品质评价在坚果新鲜度监测中的应用

酸价、过氧化值等油脂品质是评价坚果新鲜度的重要指标。油脂品质受到储藏条件、加工及包装方式等方面的影响。储藏温度是影响坚果重要条件之一, 温度越高, 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)活性越低, 坚果越容易被氧化。景娜娜等^[26]发现-20 °C可更好地维持核桃种仁的油脂品质, 过氧化值较低。何爱民等^[27]发现核桃的酸价、过氧化值等随烤制温度升高、烤制时间延长而增加。干燥工艺对坚果的储藏特性有显著影响, TURAN^[28]通过 DM₁ (dincler makeine)和 DM₂ (dincler makeine)两种方式干燥榛子, 发现 DM₁ 干燥方式中过氧化值更低, 碘值更高。不同包装方式提供了不同的气体环境及光照条件, 包装内氧气浓度越高, 接触光照的面积越大, 坚果越易被氧化。秦南南等^[29]对比真空、真空脱氧、充氮气和充气脱氧包装对核桃品质的影响, 发现真空脱氧包装处理能有效抑制核桃的氧化酸败, 核桃品质指标均优于其他包装方式。坚果氧化过程中的油脂品质分析, 为判断其氧化程度, 寻找较佳储藏、加工及包装提供理论依据。

2.2.2 不同产地及品种的坚果油脂品质的差异

不同产地及品种的坚果油脂品质也有差异。曲清莉等^[30]发现不同地域核桃的碘值、过氧化值、酸值有显著差异。通过对新疆 11 种核桃酸价、过氧化值的检测, 仲雪娜等^[31]发现不同品种核桃的酸价、过氧化值也不同。袁雪^[32]对不同品种青皮核桃耐贮性比较, 分析发现过氧化值和羰

基值因品种不同而呈不同变化趋势。

3 快速检测方法在坚果品质评价中的应用

用于坚果品质快速检测的方法主要是光谱分析技术和电子鼻技术。近红外光谱、高光谱、低场核磁共振、X 射线成像、傅里叶红外光谱技术等光谱分析技术已被广泛应用于检测坚果营养成分含量、鉴别不同来源和品种的坚果。电子鼻则通过挥发性物质的气味来监测坚果的新鲜度、识别坚果的品种和产地。相关研究见表 3。

3.1 光谱分析技术在坚果品质评价中的应用

光谱分析技术因其操作简便、灵敏度高、无损快速等优点, 已广泛应用于坚果营养成分含量的检测, 霉变、氧化酸败等新鲜度指标的检测。此外, 光谱分析技术还可实现坚果产地及品种的判别。

3.1.1 光谱分析技术在坚果品质评价中的应用

光谱分析可以快速无损地检测坚果中的水分、蛋白质、脂肪等营养物质。评价其新鲜度及油脂氧化程度。二维相关光谱可将光谱信号扩展到第二维, 进而进行定性和定量分析, 已实现青皮含水率的检测^[33]。陈文玉等^[34]利用低场核磁共振无损检测了澳洲坚果含水率。LI 等^[35]采用近红外光谱耦合化学计量检测了红松种子油脂含量。此外, 光谱分析技术还可以用于坚果新鲜度的检测、评估坚果油脂的氧化变质

表 3 光谱分析在坚果中的应用

Table 3 Applications of spectral analysis in the nuts

方法	样品	条件	检测指标	结果
可见/近红外光谱	鲜食核桃	八至九成熟、大小相近、无病虫害及损伤	含水率	通过二维相关光谱分析提取的自相关峰位置处光谱强度变化与青皮含水率的变化存在一定关联 ^[33]
低场核磁共振	澳洲坚果	无损检测	含水率	利用低场核磁共振实现了澳洲坚果含水率的检测 ^[34]
近红外光谱	红松种子	粉碎	油脂含量	采用近红外光谱耦合化学计量检测了红松种子油脂含量 ^[35]
高光谱	核桃	正常与黑斑	光谱信息和图像信息	PLS 判别模型可实现对正常核桃和黑斑核桃的区分 ^[36]
拉曼光谱技术结合傅里叶红外光谱技术	榛子、腰果、夏威夷果等	提取油脂在烘箱中加速氧化	光谱图	利用拉曼光谱技术结合傅里叶红外光谱技术可以实现油脂氧化指标的快速检测 ^[37]
中红外光谱	核桃	不同产地	光谱图	利用中红外光谱可以实现不同产地核桃的鉴别 ^[38]
二维相关红外光谱	核桃	不同产地	光谱图	在 1450~1780 cm ⁻¹ 范围内不同产地核桃自动峰和交叉峰的数目及强度存在显著差异 ^[39]
中红外光谱	核桃	不同产地	光谱图	和田、喀什、阿克苏地区预测集判别准确率分别为 85.70%、97.50%、76.70% ^[40]
X 射线成像	核桃	不同品种	图像信息	基于 X 射线成像技术能有效判别核桃品种 ^[41]
近红外高光谱	板栗	不同品种	光谱图	近红外高光谱图像技术实现了不同品种板栗的快速识别 ^[42]

程度等。李成吉等^[36]采用高光谱结合偏最小二乘法判别模型实现了对正常核桃和黑斑核桃的区分。周妍宇^[37]利用拉曼光谱技术结合傅立叶红外光谱技术实现了 8 种坚果油氧化变质过程的评估。光谱分析技术可以快速无损检测坚果内部品质, 这对优化坚果加工工艺, 保障其营养价值具有重要意义, 也为其他食品无损检测提供了参考。

3.1.2 光谱分析技术在坚果产地溯源及品种判别中的应用

受产地、品种影响, 坚果成分组成不同, 导致光谱吸收谱带不同, 利用光谱分析可以实现产地与品种的鉴别^[38]。常用的有中红外光谱、色散高光谱、傅立叶变换红外光谱等。就产地而言, 杨卫梅等^[39]利用傅立叶变换红外光谱实现了不同产地核桃的快速鉴别研究; 夷娜^[40]通过采集喀什、和田、阿克苏 3 个地区核桃的中红外光谱指纹, 实现了核桃产地溯源。就品种而言, 高庭耀等^[41]采用 X 射线成像判别了不同品种的核桃。章林忠等^[42]利用近红外高光谱图像技术实现了不同品种板栗的快速识别。相对于傅里叶变化红外光谱, 二维相关红外光谱简化了复杂光谱的重叠峰, 提高了光谱分辨率, 提供了更多的细节信息, 所以在进行坚果产地与品种判别时, 可以将两者结合效果更好。

3.2 电子鼻技术在坚果品质评价中的应用

电子鼻是一种模仿动物嗅觉系统的设备, 由于具有无损、快速、操作简便等优点, 广泛地应用于坚果新鲜度、产地与坚果的判别。电子鼻在坚果中的应用见表 4。

3.2.1 电子鼻技术在坚果新鲜度检测中的应用

不同储藏时间的坚果, 其内部的挥发性成分也不

同, 根据电子鼻传感器对不同挥发性气体的敏感度不同, 结合 PCA、LDA 等分析方法实现坚果新鲜度的判别。电子鼻技术结合判别模型可用于山核桃贮藏年限及其陈化指标的预测^[43]; 对不同氧化阶段的山核桃, 何金鑫等^[44]采用电子鼻联合理化指标分析其品质变化, 发现随着氧化时间的延长, 电子鼻传感器的响应强度逐渐增大。叶茵霜^[45]发现利用电子鼻可有效区分新鲜花生、陈年花生与返鲜花生。拱健婷等^[46]利用电子鼻区分了不同炮制品及走油程度的苦杏仁。微生物代谢产生有害异味, 电子鼻在真菌毒素污染状况预测方面具有突出优势。刘鹏^[47]利用电子鼻结合 PCA、LDA 分析研究了霉变花生中霉菌的种类及污染程度。王蓓等^[48]利用电子鼻技术实现了花生中不同霉菌感染下的霉变程度及毒素含量的测定。电子鼻不仅可以实现坚果年限判别, 而且可以判别坚果的霉变程度, 这为市场上以陈充新坚果的检测提供了有效的检测技术。

3.2.2 电子鼻技术在坚果产地和品种判别中的应用

不同产地及品种的坚果, 其内部的挥发性物质不同, 可以利用电子鼻实现产地和品种的区分。就品种而言, 史文青^[49]利用电子鼻区分了不同品种的花生。巩芳娥等^[50]分析了陇南核桃 3 大主栽品种风味物质, 利用电子鼻结合 LDA 方法分析可有效区分 3 个品种核桃青果、湿果核仁。就产地而言, 李雅雯等^[51]采集了新疆核桃、阿克苏和叶城地区核桃的电子鼻气味信息, 结合 PCA 分析实现了不同产地核桃的区分。随着检测技术的发展与完善, 携带方便且不需复杂预处理的电子鼻技术将会在坚果产地与品种判别中应用越来越广泛。

表 4 电子鼻在坚果中的应用
Table 4 Application of electronic nose in the nuts

样品	处理方法	结果
山核桃	3 年陈、2 年陈、1 年陈、0 年(新鲜)	对不同贮藏年限山核桃的传感器响应值数据矩阵进行主成分分析, 可以将他们完全区分开, 而且效果比较好 ^[43]
山核桃	氧化	随着氧化时间的延长, 电子鼻传感器的响应强度逐渐增大 ^[44]
花生	新鲜、陈年与返鲜	用电子鼻有效区分新鲜花生、陈年花生与返鲜花生 ^[45]
苦杏仁	3 种炮制品及 3 种走油程度(杏仁、炒杏仁、焯杏仁)和 3 种油度(未走油、轻微走油、走油)	不同炮制品及走油程度苦杏仁样品的传感器阵列特征响应雷达图存在差异 ^[46]
花生	辐射灭菌花生籽粒并于 26 °C、80%相对湿度条件下储藏 9 d 至严重霉变	PCA 可区分不同霉菌侵染程度的花生样品 ^[47]
花生	辐射灭菌花生籽粒并于 26 °C、80%相对湿度条件下储藏 6 d	主成分分析结果显示不同霉菌污染下有一定的聚类趋势 ^[48]
花生	不同品种(黑花生、白花生等)	电子鼻可以区分不同品种的花生 ^[49]
核桃	不同品种(香玲、强特勒、清香)	采用 LDA 方法分析青果、湿果核仁风味物质能有效区分这 3 个品种 ^[50]
核桃	不同产地(和田、阿克苏、叶城)	电子鼻可以区分不同产地的核桃 ^[51]

4 结束语

坚果及其制品深受消费者喜爱,随着社会的发展及人们安全意识的增强,坚果品质的快速、准确检测受到广泛关注。坚果品质检测方法中,感官评价耗时长、对感官评定人员的依赖性强,变质坚果还可能对感官评审员身体健康产生影响;理化检测前处理复杂、操作烦琐、检测费用高,不仅费时费力,还易对待测样品造成损伤;光谱技术应用于坚果的检测已经取得了一定的成果,但坚果外壳坚硬,阻碍了光谱数据采集的准确度,且仪器设备较庞大、价格昂贵。电子鼻基于气味信息检测,可在不破损坚果的情况下,实现坚果内部品质的无损检测,具有便捷、操作简单、高效等优点,在坚果品质检测中具有广阔的应用前景。随着电子鼻技术的发展,传感器技术的不断进步,坚果内部品质的检测将更加简便、精确,并逐步从实验室走向生产线,走向实用化,为坚果品质检测提供技术保障。

参考文献

- REN EF, NIU DB, LIU GD. Study on the analysis of nutrient components of macadamia nut and the comprehensive utilization of its processing byproducts [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(6): 194-199.
- SINA N, MEHDI S, MORTEZA N, *et al.* Association of total nut, tree nut, peanut, and peanut butter consumption with cancer incidence and mortality: A comprehensive systematic review and dose-response meta-analysis of observational studies [J]. *Adv Nutr*, 2021, 12(3): 793-808.
- LARSSON SC, DRCA N, BJORCK M, *et al.* Nut consumption and incidence of seven cardiovascular diseases [J]. *Heart*, 2018, 104(19): 1615-1620.
- 徐杨玉, 刘付香, 洪彦彬, 等. 绿色木霉对花生黄曲霉毒素污染的防治 [J]. *热带生物学报*, 2019, 10(4): 367-371.
XU YY, LIU FX, HONG YB, *et al.* Control of aflatoxin contamination by *Trichoderma viridifolia* in peanut [J]. *J Trop Biol*, 2019, 10(4): 367-371.
- MARA AN, HE W, LIGANG Z, *et al.* Comparative analysis of volatile profiles in two grafted pine nuts by headspace-SPME/GC-MS and electronic nose as responses to different roasting conditions [J]. *Food Res Int*, 2021. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.110026
- 古明亮, 苏明, 阮嘉欣, 等. 炒制温度和时间对炒花生仁品质影响的研究 [J]. *粮食与食品工业*, 2018, 25(6): 31-34.
GU ML, SU M, RUAN JX, *et al.* Effect of roasted temperature and time on the quality of roasted peanuts kernels [J]. *Cere Food Ind*, 2018, 25(6): 31-34.
- 张莹莹, 毛向红, 张建英. 石门核桃品种‘魁香’坚果品质比较分析 [J]. *河北林业科技*, 2019, (2): 6-8.
ZHANG YY, MAO XH, ZHANG JY. Analysis on nut quality of ‘Shimen’ walnut cultivar-‘Kuixiang’ [J]. *J Hebei For Sci Technol*, 2019, (2): 6-8.
- AGNIESZKA K, SABINA L, PAULINA F. Effects of package type on the quality of fruits and nuts panned in chocolate during long-time storage [J]. *LWT-Food Sci and Technol*, 2020, 125(4): 109212.
- NAJAFI MBH, LEUFVEN A, DOVOM MRE, *et al.* Probing the interactions between hardness and sensory of pistachio nuts during storage using principal component analysis [J]. *Food Sci Nutr*, 2019, 7(8): 2684-2691.
- 马佳乐, 唐玉荣, 张永成, 等. 坚果壳仁分离的研究现状与分析 [J]. *农机化研究*, 2021, 43(2): 6.
MA JL, TANG YR, ZHANG YC, *et al.* Research status and analysis of nut shell kernel separation [J]. *Res Agric Mechan*, 2021, 43(2): 6.
- 刘娇, 负新华, 范志远, 等. 不同海拔下漾泡核桃的坚果品质差异性研究 [J]. *南方林业科学*, 2018, 46(2): 17-20.
LIU J, YUAN XH, FAN ZY, *et al.* Study on the quality difference of *Juglans sigillata* variety Yangpao walnut under different altitudes [J]. *South China Forest Sci*, 2018, 46(2): 17-20.
- 肖之炎, 黄瑞敏, 王其竹, 等. 不同生态气候区核桃坚果品质比较 [J]. *中国农学通报*, 2019, 35(28): 70-74.
XIAO ZY, HUANG RM, WANG QZ, *et al.* Walnut in different ecological climate zones: Nut quality comparison [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2019, 35(28): 70-74.
- 费昭雪, 彭少兵. 陕南不同产地核桃综合性状评价 [J]. *西南林业大学学报(自然科学版)*, 2018, 38(5): 90-96.
FEI ZX, PENG SB. Comprehensive evaluation of *Juglans regia* in different producing areas of southern Shaanxi [J]. *J Southwest For Univ (Nat Sci Ed)*, 2018, 38(5): 90-96.
- 宋岩, 王小红, 张锐, 等. 新疆核桃品种间品质差异比较 [J]. *中国粮油学报*, 2019, 34(8): 91-97.
SONG Y, WANG XH, ZHANG R, *et al.* Comparison of quality differences among walnut varieties in Xinjiang [J]. *J Chin Cere Oils Ass*, 2019, 34(8): 91-97.
- 陈芮蝶, 高飞, 计雅男, 等. 秦巴山区和黄土塬区不同基因型核桃坚果品质的综合评价 [J]. *河南农业大学学报*, 2021, 55(5): 868-874.
CHEN RD, GAO F, JI YN, *et al.* Comprehensive evaluation of nut quality of different genotypes of walnut in Qinba mountain and loess plateau [J]. *J Henan Agric Univ*, 2021, 55(5): 868-874.
- 赵瑾凯. 风干板栗的制备条件优化及其淀粉理化性质和体外消化性研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
ZHAO JK. Optimization of processing air-dried chestnut and physicochemical properties and in vitro digestibility of its starch [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2019.
- 胡海超, 刘慧, 李晴, 等. 低剂量辐照鲜核桃冷藏期的生理与品质变化 [J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(8): 170-175.
HU HC, LIU H, LI Q, *et al.* Changes of low-dose irradiation on physiology and quality of fresh walnuts during cold storage [J]. *Food Res Dev*, 2018, 39(8): 170-175.
- 王洋玲. 热加工方式对腰果营养组分、风味组成及致敏性的影响 [D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
WANG YL. Study on the influence of heating methods on the nutrition components, volatile composition and allergenicity of cashew nut [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019.
- 刘晨霞, 乔勇进, 黄宇斐, 等. 温度对核桃贮藏生理品质的影响 [J]. *食品与发酵科技*, 2018, 54(4): 42-47.
LIU CX, QIAO YJ, HUANG YF, *et al.* Effect of temperature on storage physiological quality of walnut [J]. *Food Ferment Sci Technol*, 2018, 54(4): 42-47.
- 于江, 颜敏华, 吴小华, 等. 不同贮藏温度对干核桃贮藏品质及抗氧化

- 活性的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(3): 26-33.
- YU J, JIE MH, WU XH, *et al.* Effects of different storage temperatures on storage quality and antioxidant activity of dry walnut [J]. Storage Process, 2020, 20(3): 26-33.
- [21] 严芳, 罗轩文, 刘洋, 等. 葵花籽不同包装方式储存品质的研究[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(6): 18-22.
- YAN F, LUO XW, LIU Y, *et al.* Study on quality of sunflower seeds stored in different packaging methods [J]. Packag Food Mach, 2016, 34(6): 18-22.
- [22] 任传义, 程军勇, 陈振超, 等. 基于多元含量的统计学方法鉴别我国不同产地核桃[J]. 林业科学研究, 2017, 30(5): 779-787.
- REN CY, CHENG JY, CHEN ZC, *et al.* Identification of walnut from different regions of China by statistical methods based on the determination of multi-element contents [J]. For Sci Res, 2017, 30(5): 779-787.
- [23] 耿树香, 韩明珠, 宁德鲁, 等. 云南不同产地漾濞泡核桃品质综合评价分析[J]. 中国油脂, 2019, 44(5): 156-160.
- GENG SX, HAN MZ, NING DL, *et al.* Comprehensive evaluation and analysis of the quality of Yangbi bubble walnut from different habitats in Yunnan [J]. China Oils Fats, 2019, 44(5): 156-160.
- [24] 常君, 张潇丹, 姚小华, 等. 不同品种薄壳山核桃氨基酸组成及营养价值评价[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(4): 44-52.
- CHANG J, ZHANG XD, YAO XH, *et al.* Evaluation of amino acid composition and nutritional value of different cultivars of thin-shacked [J]. J Southwest Univ (Nat Sci Ed), 2021, 43(4): 44-52.
- [25] 张俊环, 张美玲, 姜凤超, 等. 不同种和品种杏资源种仁中的重要营养成分评价[J]. 中国果树, 2021, (2): 49-54.
- ZHANG JH, ZHANG ML, JIANG FC, *et al.* Evaluation of important nutrient components in seed kernel of different species and varieties of apricot resources [J]. China Fruit, 2021, (2): 49-54.
- [26] 景娜娜, 王嘉欣, 钟紫璇, 等. 冻藏处理对“香玲”核桃果实贮藏品质与生理的影响[J]. 北方园艺, 2021, (1): 100-107.
- JING NN, WANG JX, ZHONG ZX, *et al.* Effect of frozen storage treatment on storage quality and physiology of walnut “Xiangling” [J]. North Hortic, 2021, (1): 100-107.
- [27] 何爱民, 吉洋洋, 李娜, 等. 烤制工艺对烤核桃品质影响机理的研究[J]. 食品工程, 2021, (1): 29-33.
- HE AIM, JI YY, LI N, *et al.* Research on the effect mechanism of roasting process on the quality of roasted walnuts [J]. Food Eng, 2021, (1): 29-33.
- [28] TURAN A. Effect of drying methods on nut quality of hazelnuts (*Corylus avellana* L.) [J]. J Food Sci Technol, 2018. DOI: 10.1007/s13197-018-3391-8
- [29] 秦南南, 杜林笑, 何庆, 等. 不同包装方式对薄皮核桃冷藏品质的影响[C]. 中国食品科学技术学会第十七届年会, 中国陕西西安, 2020.
- QIN NN, DU LX, HE Q, *et al.* Effects of different packaging methods on the cold storage quality of thin-skin walnuts [C]. 17th Annual Meeting of Chin Soc Food Sci Technol, Xi'an, Shaanxi, China, 2020.
- [30] 曲清莉, 杨晓颖, 陈庆敏, 等. 地域因素对核桃贮藏品质、抗氧化能力及酚类代谢物的影响[J]. 食品工业, 2015, 36(10): 196-200.
- QU QL, YANG XY, CHEN QM, *et al.* Geography factor on storage quality parameters, antioxidant activity and phenolic metabolites of walnuts [J]. Food Ind, 2015, 36(10): 196-200.
- [31] 仲雪娜, 任小娜, 曾俊, 等. 新疆不同品种核桃及其油脂品质对比分析[J]. 中国油脂, 2018, 43(12): 130-133.
- ZHONG XN, REN XN, ZENG J, *et al.* Comparison of qualities of walnuts and their oils from different varieties in Xinjiang [J]. China Oils Fats, 2018, 43(12): 130-133.
- [32] 袁雪. 不同品种青皮核桃耐贮藏性比较及其影响因素研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018.
- YUAN X. Study on the storability comparison among different fresh in-husk walnut cultivars and the related influencing factors [D]. Xianyang: Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2018.
- [33] 孙海霞, 张淑娟, 李成吉, 等. 二维相关光谱的鲜核桃青皮含水率检测[J]. 食品科技, 2021, 46(1): 275-279.
- SUN HX, ZHANG SJ, LI CJ, *et al.* Detection of moisture content on green peel of fresh walnut using two-dimensional correlation spectroscopy [J]. Food Sci Technol, 2021, 46(1): 275-279.
- [34] 陈文玉, 穆宏磊, 吴伟杰, 等. 利用低场磁共振技术无损检测澳洲坚果含水量[J]. 农业工程学报, 2020, 36(11): 303-309.
- CHEN WY, MU HL, WU WJ, *et al.* Nondestructive measurement of moisture content of macadamia nuts by low-field nuclear magnetic resonance [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2020, 36(11): 303-309.
- [35] LI HB, JIANG DP, CAO J, *et al.* Near-infrared spectroscopy coupled chemometric algorithms for rapid origin identification and lipid content detection of *Pinus koraiensis* seeds [J]. Sensors, 2020, 20(17): 4905.
- [36] 李成吉, 张淑娟, 任锐, 等. 基于高光谱成像技术的核桃黑斑识别研究[J]. 农产品加工, 2020, (8): 69-71.
- LI CJ, ZHANG SJ, REN R, *et al.* Research on black spot recognition of walnut based on hyperspectral imaging technology [J]. Farm Prod Process, 2020, (8): 69-71.
- [37] 周妍宇. 拉曼和红外光谱评估坚果油脂氧化的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- ZHOU YY. Study on Raman and infrared spectroscopy to evaluate the oxidation of nut oils [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [38] 何勇, 郑启帅, 张初, 等. 基于中红外光谱和化学计量学算法鉴别核桃产地及品种[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(9): 2812-2817.
- HE Y, ZHENG QS, ZHANG C, *et al.* Identification of walnut origin and variety based on mid infrared spectroscopy and stoichiometry [J]. Spectrosc Spect Anal, 2019, 39(9): 2812-2817.
- [39] 杨卫梅, 刘刚, 欧全宏, 等. 不同产地核桃的二维相关红外光谱鉴别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(1): 11-12.
- YANG WM, LIU G, OU QH, *et al.* Study on identification of walnut from different areas by two-dimensional correlation infrared spectroscopy [J]. Spectrosc Spect Anal, 2018, 38(1): 11-12.
- [40] 夷娜. 新疆核桃品质地域差异性及其溯源技术研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2018.
- YI N. Comparison and authentication of walnut from different region of Xinjiang province [D]. Alar: Tarim University, 2018.
- [41] 高庭耀, 张淑娟, 孙鹏, 等. 基于X射线图像的核桃品种识别方法研究[J]. 食品科技, 2020, 45(11): 284-288.
- GAO TY, ZHANG SJ, SUN P, *et al.* Variety classification of walnut based on X-ray image [J]. Food Sci Technol, 2020, 45(11): 284-288.
- [42] 章林忠, 丁玲玲, 蔡雪珍, 等. 基于近红外高光谱图像技术的栗果品质无损检测[J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(1): 160-166.
- ZHANG LZ, DING LL, CAI XZ, *et al.* Non-destructive detection of

- Chinese chestnut (*Castanea mollissima*) nut qualities based on near-infrared hyperspectral imaging techniques [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2019, 46(1): 160–166.
- [43] 庞林江, 王俊, 路兴花, 等. 基于电子鼻技术的山核桃陈化指标预测模型研究[J]. *传感技术学报*, 2019, 32(9): 1303–1307.
- PANG LJ, WANG J, LU XH, *et al.* Detection models of aging index of walnut (*Carya Cathayensis* Sarg) based on electronic nose technology [J]. *Chin J Sens Actuat*, 2019, 32(9): 1303–1307.
- [44] 何金鑫, 邵海燕, 穆宏磊, 等. 山核桃氧化过程中品质指标变化的电子鼻快速检测[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(14): 284–291.
- HE JX, HAO HY, MU HL, *et al.* Rapid detection of quality parameters change in hickory oxidation process by electronic nose [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2017, 33(14): 284–291.
- [45] 叶茜霜. 电子鼻技术在花生品质中的初步应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- YE LS. The study on the application of electronic nose in the peanut quality detection [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [46] 拱健婷, 赵丽莹, 徐东, 等. 电子鼻联合支持向量机建立苦杏仁不同炮制品及走油程度快速判别模型[J]. *中国中药杂志*, 2020, 45(10): 2389–2394.
- GONG JT, ZHAO LY, XU D, *et al.* Discrimination of armeniaca semen amarum from different processed products and various rancidness degrees by electronic nose and support vector machine [J]. *China J Chin Mat Med*, 2020, 45(10): 2389–2394.
- [47] 刘鹏. 花生有害霉菌污染的快速无损检测方法研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2017.
- LIU P. Rapid non-destructive inspection of hazard fungal contamination in peanuts [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2017.
- [48] 王蓓, 沈飞, 何学明, 等. 电子鼻同步检测花生霉菌及霉菌毒素[J]. *食品科学*, 2021, 6: 1–9.
- WANG B, SHEN F, HE XM, *et al.* Simultaneous detection of harmful fungi and mycotoxin contamination in peanuts by electronic nose [J]. *Food Sci*, 2021, 6: 1–9.
- [49] 史文青. 花生及花生油挥发性气味真实性成分的鉴定[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2012.
- SHI WQ. Identification of the authenticity of the volatile components of peanuts and peanut oil [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2012.
- [50] 巩芳娥, 虎云青, 任志勇, 等. 电子鼻对陇南核桃主栽品种风味物质的研究[J]. *中国林副特产*, 2020, (5): 1–6.
- GONG FE, HU YQ, REN ZY, *et al.* Visible taste-study on flavor substances of main walnut varieties in Longnan by electronic nose [J]. *Forest By-prod Spec China*, 2020, (5): 1–6.
- [51] 李雅雯, 吴潇霞, 陈楠, 等. 新疆 11 种干果电子鼻指纹差异性研究[J]. *轻工科技*, 2020, 36(4): 9–12.
- LI YW, WU XX, CHEN N, *et al.* Study on the difference of electronic nose fingerprint of 11 kinds of dried fruits in Xinjiang [J]. *Light Ind Sci Technol*, 2020, 36(4): 9–12.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



摆小琴, 硕士研究生, 主要研究方向为食品、农产品品质检测研究。
E-mail: 32388121672@qq.com



田晓静, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品、农产品品质检测研究。
E-mail: smile_tian@yeah.net