

红外光谱技术在红枣农药残留检测中的研究进展

王 贤, 华震宇, 何伟忠*

(新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘 要: 红枣是新疆特色林果的支柱产业, 随着栽培面积的不断扩大, 由于栽培生态的不同和病虫害的增加, 致使农药的使用也越来越多, 农药的滥用、误用、超量使用等不规范使用会导致红枣质量安全问题逐渐增多。基于红枣质量安全的关注及红枣中农药残留快速检测的需求, 因红外光谱技术简单、快捷、经济、无损的特点, 近年来国内外学者利用红外光谱技术对农产品中农药残留检测的可行性进行研究, 验证红外光谱技术可用于农产品中农药残留检测分析, 结合数据处理方法, 化学计量学方法等可建立定性、定量分析检测模型。本文概述近年来红枣中农药的残留和检测现状以及红外光谱技术在农药残留检测相关领域的研究进展, 并对红外光谱技术在农药残留检测中的应用发展进行展望。

关键词: 红外光谱技术; 红枣; 农药残留

Research progress in infrared spectroscopy for detection of pesticide residue in jujube

WANG Xian, HUA Zhen-Yu, HE Wei-Zhong*

(Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology Research, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

ABSTRACT: Jujube is the pillar industry of Xinjiang's characteristic forest fruits. With the continuous expansion of cultivation area, due to the difference of cultivation ecology and the increase of plant diseases and insect pests, the use of pesticides is also increasing. Irregular use of pesticides, such as abuse, misuse and excessive use, will lead to the gradual increase of jujube quality and safety problems. In recent years, based on the concern of jujube quality and safety and the requirement of rapid detection of pesticide residues in jujube, scholars at home and abroad have studied the feasibility of detecting pesticide residues in agricultural products by using infrared spectroscopy technology for its simple, fast, economical and non-destructive, and verified that infrared spectroscopy technology can be used for detecting and analyzing pesticide residues in agricultural products. Combined with data processing methods and chemometrics methods, qualitative and quantitative analysis detection models can be established. In this paper, the present situation of pesticide residues and detection in jujube in recent years and the research progress of infrared spectroscopy in pesticide residue detection were summarized, and the application and development of infrared spectroscopy in pesticide residue

基金项目: 新疆农业科学院青年基金项目(xjnkq-2015037)、国家自然科学基金地区基金项目(31760491)

Fund: Supported by Youth Fund of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences (xjnkq-2015037), the National Natural Science Foundation of China Regional Fund Project (31760491)

*通讯作者: 何伟忠, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。E-mail: hewei198112@126.com

*Corresponding author: HE Wei-Zhong, Master, Associate Professor, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, No.403, Nanchang Road, Urumqi 830091, China. E-mail: hewei198112@126.com

detection were prospected.

KEY WORDS: infrared spectroscopy; jujube; pesticide residue

1 引 言

红枣为鼠李科枣属植物枣树的成熟果实,据 2017 年中国农业年鉴统计数据显示 2016 年全国红枣产量约 824 万吨,新疆省产量约 326 万吨,约占全国产量的 40%。新疆南疆和东疆地区昼夜温差大,日照时间长,独特优越的自然环境种植出的红枣果实饱满、皮薄肉厚、口味甘甜,成为新疆特色林果的支柱产业^[1-3]。

随着红枣种植面积不断扩大,农药在现代化农业中已成为农业增产的有力措施和手段,农药品种多,主要有杀虫剂、杀菌剂、除草剂和植物生长调节剂等^[4,5],我国近年来已成为世界上农药应用最广泛的国家之一。然而,农药盲目滥用、误用、超量使用,造成农产品及食品中农药残留,导致食品安全问题逐渐增多,农药在食品和环境中的残留问题、安全问题也越来越受到人们的关注^[6-12]。

农产品农药残留常用检测方法有气相色谱法(gas chromatography, GC)、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)、气-质联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、液-质联用法(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)等^[4,9,13-17],这些方法操作复杂、耗时、费用昂贵。红外光谱技术因具有便捷、经济、快速、稳定等优点,而被广泛应用于农产品产地鉴别^[18,19]、成分分析^[20-22]、农药^[23-31]和微生物^[32]污染程度等的定性、定量分析中。本文将重点概述近年来红枣中农药残留检测的现状以及红外光谱技术在农药残留检测相关领域的研究进展,以期红外光谱技术应用于红枣中农药残留快速检测提供参考。

2 红枣中农药残留与检测现状

近年来由于红枣的营养和药用保健作用^[33,34]、以及经济效益和社会效益显著^[2]等特点而被广泛栽培。随着栽培面积的不断扩大,由于栽培生态的不同和病虫害的增加^[13,35,36],致使农药的使用也越来越多,滥用、误用、超量使用的现象也屡见不鲜,因现在人们对农产品质量安全的重视,对于红枣中的农药残留检测分析报道逐渐增多^[37-40]。

2.1 红枣中农药残留检测现状^[16,34,38,40-48]

前人研究结果显示在红枣中农药残留检出最多的为杀虫剂(氯氰菊酯、氯菊酯、啉虫脒、灭幼脲、毒死蜱、地

虫硫磷、克百威等),其次为杀菌剂(三唑酮、苯醚甲环唑、多菌灵、戊唑醇、苯醚甲环唑等)。红枣在其生长过程中为防治枣大球蚧、红蜘蛛、桃小食心虫等会用到杀虫剂;防治黑斑病,枣缩果病等会用到杀菌剂;为调节枣树生长发育,稳产增产、改善品质等用到植物生长调节剂,在红枣种植中使用的杀虫剂因其性质、用量、残留毒性等特点更容易在红枣中残留,相比较杀菌剂的检出率则较少,个别限用、禁用的有机磷、氨基甲酸酯类农药,红枣中农药残留有检出,但现有研究结果显示检出农药均未超标,膳食风险评估均处于较低风险水平。

2.2 红枣中农药残留检测方法

2.2.1 气相色谱法

气相色谱法为农药残留检测的传统检测方法,国家标准方法,也是最早用于红枣中农药残留检测的方法^[38,42,46]。样品经前处理后,气体作为流动相将汽化后样品带入选柱中,柱中的固定相与样品中各组分相互作用,各组分从色谱柱中流出时间有所差异,组分彼此分离,然后经不同检测器检测,对样品进行定性定量分析。

2.2.2 高效液相色谱法^[17]

高效液相色谱法采用高压输液系统,以液体作为流动相,与流动相等泵入装有固定相的色谱柱,各组分柱内分离,后进入不同检测器(紫外吸收检测器,荧光检测器,电化学检测器和折光示差检测器)检测,对试样进行分析。You 等^[16]采用高效液相色谱串联质谱法测定枣中戊唑醇残留量。

2.2.3 气-质联用法

气相色谱与质谱联用,综合两者优点,分析复杂样品。Zhao 等^[15]采用气相色谱-质谱联用技术对市售红枣样品中 16 种农药进行检测,从中检出毒死蜱、已唑醇、戊唑醇和氯氟氰菊酯。杨巍^[44]建立固相萃取-气相色谱-串联质谱法测定干果中 57 种农药残留检测的分析方法。

2.2.4 液-质联用法

液相色谱与质谱联用,分离分析高极性、热不稳定性或难挥发的大分子复杂有机混合物。在李安,何伟忠等^[42,48]利用液-质联用法对红枣中农药残留进行测定。杨巍^[44]建立固相萃取-高效液相色谱-串联质谱法测定干果中 62 种农药残留检测的分析方法。

2.2.5 前处理方法

色谱法检测红枣中农药残留常用前处理方法有固相萃取、溶剂萃取、QuEChERS^[50]、超声萃取等,优点是技术成熟、稳定,但样品前处理过程繁琐、耗时费力和成本

较高等缺点。

3 红外光谱技术在农药残留检测中的应用现状

3.1 红外光谱技术

红外光谱主要分吸收光谱,发射光谱和散射光谱,一般常用的是红外吸收光谱。红外吸收光谱源于分子振动转动,能级跃迁引起的振动光谱。通常将红外光谱分为 3 个区域:远红外区(大约 $400\sim 10\text{ cm}^{-1}$),中红外区(大约 $4000\sim 400\text{ cm}^{-1}$),近红外区($14000\sim 4000\text{ cm}^{-1}$)。较高能量的红外线照射下,不同种类的分子只吸收与其分子振动,转动频率相一致的红外光谱,分析红外光谱,可对物质进行定性分析;化合物分子中存在着不同的官能团,激发后产生特征振动,相应振动频率会反映在红外吸收光谱上,可鉴定化合物中各官能团,也可进行定量分析^[50,51]。红外光谱技术因其快速、经济、无损等特点,在果蔬中农药残留检测中有着巨大的潜力和市场应用价值。

中红外光谱和近红外光谱技术常应用于果蔬中农药残留检测^[26]。由于大多数物质的基频吸收带出现在中红外区,所以中红外光谱技术被用来定性和定量分析;通过学者们不断地研究改进摸索,将化学计量法与近红外区特殊的光谱吸收谱带结合,更好的改善该技术在检测上的定性定量研究。现在常用的仪器有傅立叶变换红外光谱仪,可在中红外、近红外或远红外波段切换使用,利用迈克尔逊干涉仪得到入射光的干涉图函数,然后通过计算机的傅里叶数学变换为红外光谱图。通过特征频率确定主要官能团,解析光谱图,进行物质定性,并可结合化学计量学法进行建模定量分析;也可连接多个检测器,配置显微镜或成像系统,满足不同波段,不同目的的需求。

化学计量学法是数学,统计学和计算机科学与化学相结合的一门学科,用统计学和数学的方法分析处理数据,建立优化各种化学模型。常见化学计量学方法有主成分分析法(principal component analysis, PCA)、偏最小二乘法(partial least square regression, PLS)、因子判别分析(factor discriminant analysis, FDA)、多元线性回归法(multiple linear regression, MLR)、小波分析(wavelet transform analysis, WTA)与人工神经网络法(artificial neural network, ANN)等^[52]。

红外光谱技术应用于检测时,样品制备方法因样品状态的不同有压片法,涂膜法,糊状法,还可以通过不同的采样附件(衰减全反射附件,可拆卸液体池,气体池等)对气体和液体进行直接检测,与气、液相色谱法等传统检测方法的前处理比起来简单便捷,低成本。

红外光谱技术适用的样品种类多,范围广,无论是固

体、液体、气体或者悬浊体等,还是纯品、混合物,有机物、无机物都可以测定,另外因其快速、无损和低成本等特点,对果蔬中农药残留检测有着巨大的潜力和市场应用价值。

3.2 红外光谱技术在农药残留检测中的应用现状

近红外光谱技术、中红外光谱技术、拉曼光谱法和衰减全反射傅里叶变换红外光谱技术都可用于蔬菜中农药残留分析检测。近红外、中红外光谱技术预测精度高于拉曼光谱法,衰减全反射傅里叶变换红外光谱技术的农药残留检测精度高于近红外光谱技术,衰减全反射傅里叶变换红外光谱技术结合偏最小二乘法可用于微量农药溶液含量的检测和建模^[27]。

莫欣欣等^[28]利用近红外光谱技术结合化学计量学方法线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)、簇类独立软模式法(soft independent modeling of class analogy, SIMCA)和最小二乘支持向量机(least squares support vector machines, LSSVM)建立菜籽油中多效唑残留的定性检测模型。吴昕如等^[53]利用近红外光谱技术建立猕猴桃中氯吡脞含量定量检测的最佳模型,模型的预测准确性良好,表明近红外光谱技术可用于猕猴桃中氯吡脞的快速检测。

3.3 红外光谱技术在红枣农药残留检测中的应用

张令标^[54]利用近红外高光谱成像技术与化学计量学法偏最小二乘法结合,对灵武长枣表面农药毒死蜱,吡虫啉残留量进行种类判别、定性、定量检测,以期探索出一种快速检测农药残留的方法。

近年来红枣农药残留检测技术的研究主要是气相色谱法,高效液相色谱串联质谱法,液-质联用法,气-质联用法等,这些方法对仪器要求高,价格昂贵,前处理复杂,用时较长,相对而言准确度好,灵敏度高,使用范围较广。通过查阅文献发现红外光谱技术应用于红枣农药残留检测的研究较少,但红外光谱技术在农产品农药残留检测的研究比较多,研究结果验证了红外光谱技术可用于大部分的农药残留检测,通过与化学计量学结合可对农产品农药残留定性、定量。红枣作为新疆特色农产品,可借鉴前人研究成果,将红外光谱技术应用于红枣中农药残留的检测。

4 发展趋势与展望

基于农产品中农药残留的问题屡见不鲜,红外光谱检测技术便捷、经济、快速、稳定等特点将其应用于农产品农药残留检测中,不仅极大提高检测效率,还可节省检测成本。

前人研究成果显示红外光谱技术可用于农产品农药残留检测中,并且与化学计量学数据处理方法结合,建

立的预测模型较稳定, 准确度高, 未来红外设备携带便利性及光谱数据融合检测技术将是红外的光谱检测发展趋势, 与化学计量学结合可实现各光谱技术的相互融合, 使检测结果更全面, 更准确。相信随着科研工作者的不断创新和研究, 红外光谱分析技术在红枣农药残留检测中的应用会进一步发展, 同时对提高新疆红枣质量安全起到积极的作用。

参考文献

- [1] 支金虎, 郑强卿, 陈奇凌, 等. 不同生长调节剂对环塔里木盆地红枣光合特性的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2490–2495.
- Zhi JH, Zheng QQ, Chen QL, *et al.* Effect of plant growth regulators on photosynthetic characters of jujube around Tarim Basin [J]. Southwest Chin J Agric Sci, 2015, 28(6): 2490–2495.
- [2] 刘金爱, 刘丽红. 我国红枣产业发展现状与对策[J]. 林业经济, 2018, 40(12): 57–59.
- Liu JA, Liu LH. Current situation and countermeasures of jujube industry in China [J]. For Econ, 2018, 40(12): 57–59.
- [3] 玉苏甫·买买提, 阿娜尔古丽·拜克热, 阿丝叶·阿布都力米提. 新疆红枣产业发展现状与问题对策[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(14): 11–13.
- Yusupu M, Anaerguli B, Asiye A. Industry status, problems and countermeasures of red jujube in Xinjiang [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2015, 21(14): 11–13.
- [4] 李雪晴, 王璇, 刘健. 红枣中克百威检测方法研究[J]. 生物化工, 2017, 3(5): 37–40.
- Li XQ, Wang X, Liu J. Study on detection method of carbofuran in red dates [J]. Biol Chem Eng, 2017, 3(5): 37–40.
- [5] 潘瑞焱. 重视植物生长调节剂的残毒问题[J]. 生物学通报, 2002, (4): 4–7.
- Pan RZ. Attach importance to the residual toxicity of plant growth regulators [J]. Bull Biol, 2002, (4): 4–7.
- [6] 林纯忠, 骆清兰, 潘剑蕾, 等. 果蔬中植物生长调节剂残留量调查分析[J]. 南方农业, 2018, 12(03): 103–105.
- Lin CZ, Luo QL, Pan JL, *et al.* Investigation and analysis of residues of plant growth regulators in fruits and vegetables [J]. South Chin Agric, 2018, 12(3): 103–105.
- [7] 李菁, 张振华, 孟庆庆, 等. 农残快速分析方法研究进展与前景分析[J]. 北京农业, 2014, (24): 239.
- Li J, Zhang ZH, Meng QQ, *et al.* Research progress and prospect analysis of rapid analysis method for agricultural residues [J]. Beijing Agric, 2014, (24): 239.
- [8] 孙俊, 董梁, 张梅霞, 等. 农药残留检测方法 & 光谱技术在生菜农残检测中的应用[J]. 农机化研究, 2014, 36(9): 209–212.
- Sun J, Dong L, Zhang MX, *et al.* Study on methods of detecting pesticide residues and application of spectrum technique in the detection of pesticide residues in lettuce [J]. J Agric Mechanization Res, 2014, 36(9): 209–212.
- [9] 汪志威, 周思齐, 李非里, 等. 农业投入品中隐性成分筛查方法及应用[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(6): 974–981.
- Wang ZW, Zhou SQ, Li FL, *et al.* Screening method and application of hidden ingredients in agricultural inputs [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2019, 60(6): 974–981.
- [10] 周欣欣, 张宏军, 白孟卿, 等. 植物生长调节剂产业发展现状及前景[J]. 农药科学与管理, 2017, 38(11): 14–19.
- Zhou XX, Zhang HJ, Bai MQ, *et al.* Current situation and prospects of plant growth regulators [J]. Pesticide Sci Admin, 2017, 38(11): 14–19.
- [11] 张锋, 潘康标, 田子华. 植物生长调节剂研究进展及应用对策[J]. 现代农业科技, 2012, (1): 193–195.
- Zhang F, Pan KB, Tian ZH. Research progress and application countermeasure of plant growth regulators [J]. Mod Agric Sci Technol, 2012, (1): 193–195.
- [12] 王静静, 苏敏, 巩志国, 等. 多效唑、烯效唑、矮壮素和缩节胺色谱分析方法研究进展[J]. 化学分析计量, 2014, 23(5): 135–138.
- Wang JJ, Su M, Gong ZG, *et al.* Development of chromatography determination of paclobutrazol, uniconazole, chlormequat chloride and mepiquat chloride [J]. Chem Anal Meterage, 2014, 23(5): 135–138.
- [13] 刘惠. 红枣农药残留检测方法的研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018.
- Liu H. Study on detection method of pesticide residues in jujube [D]. Xanyang: Northwest A&F University, 2018.
- [14] 钱宗耀, 周晓龙, 刘河疆, 等. 气质联用法测定红枣中苯醚甲环唑残留量[J]. 现代农药, 2012, 11(3): 37–39.
- Qian ZY, Zhou XL, Liu HJ, *et al.* Determination of difenoconazole residue in red jujube by gas chromatography–mass spectrometry [J]. Mode Agrochem, 2012, 11(3): 37–39.
- [15] Zhao L, Zhang L, Liu F, *et al.* Multiresidue analysis of 16 pesticides in jujube using gas chromatography and mass spectrometry with multiwalled carbon nanotubes as a sorbent [J]. J Separation Sci, 2014, 37(22): 3362–3369.
- [16] You X, Li Y, Wang X, *et al.* Residue analysis and risk assessment of tebuconazole in jujube (*Ziziphus jujuba* Mill) [J]. Biomed Chromatogr, 2017, 31(7): e3917.
- [17] 雷甜甜, 刘世军, 唐志书, 等. 采用酶抑制法检测大枣中的农药残留[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(5): 21–22.
- Lei TT, Liu SJ, Tang ZS, *et al.* Detection of pesticide residue in red jujube by enzyme inhibition [J]. Shaanxi J Agric Sci, 2018, 64(5):

- 21–22.
- [18] 时有明, 刘刚, 刘剑虹, 等. 不同产地黑木耳的傅里叶变换红外光谱鉴别[J]. 光学学报, 2007, (1): 129–132.
- Shi YM, Liu G, Liu JH, *et al.* Identification of auricularia auricula from different regions by fourier transform infrared spectroscopy [J]. Acta Opt Sin, 2007, (1): 129–132.
- [19] 胡见飞, 刘刚, 赵兴祥, 等. FTIR 结合化学计量学对两种葡萄果苗的鉴别研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(21): 6918–6919, 6922.
- Hu JF, Liu G, Zhao XX, *et al.* Identification of two grapes seedlings by FTIR combined with chemometrics [J]. J Anhui Agric Sci, 2014, 42(21): 6918–6919, 6922.
- [20] 连媛媛, 熊乾威, 杨木莎, 等. 基于近红外光谱技术快速检测椰汁品质[J]. 食品工业科技, 2019, 40(12): 235–240.
- Lian YY, Xiong QW, Yang MS, *et al.* Rapid detection of coconut juice quality based on the near infrared spectroscopy [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(12): 235–240.
- [21] 陈秀明, 刘青, 梁浩新, 等. 基于近红外光谱对婴幼儿配方奶粉中非法添加物的快速鉴别方法[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 224–228.
- Chen XM, Liu Q, Liang HX, *et al.* Rapid method for the identification of illegal additives in infant formula based on near infrared spectroscopy [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(1): 224–228.
- [22] 罗华平, 卢启鹏. 近红外拓扑方法在南疆红枣品质分析中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(3): 655–659.
- Luo HP, Lu QP. Application of near-infrared topology method in the quality analysis of jujube of southern Xinjiang [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2012, 32(3): 655–659.
- [23] 谢玉荣, 李强, 王娇. 红外光谱技术在食品检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(22): 7773–7778.
- Xie YR, Li Q, Wang J. Application of infrared reflectance spectroscopy on food detection [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(22): 7773–7778.
- [24] 李春雨, 葛啸, 金燕婷, 等. 基于近红外光谱技术的蔬菜农药残留种类检测[J]. 农业工程, 2019, 9(6): 33–39.
- Li CY, Ge X, Jin YT, *et al.* Detection of pesticide residues in vegetables based on near-infrared spectroscopy [J]. Agric Eng, 2019, 9(6): 33–39.
- [25] 吴泽鑫. 基于近红外光谱的番茄有机磷农药残留快速检测方法研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- Wu ZX. The rapid detection of tomatoes organophosphorus pesticide residual based on near infrared spectroscopy [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.
- [26] 熊艳梅, 唐果, 段佳, 等. 近红外、中红外和拉曼光谱法测定商品农药制剂中溴氰菊酯的含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(11): 2936–2940.
- Xiong YM, Tang G, Duan J, *et al.* Quantitative analysis of the content of deltamethrin in agrochemicals by near-infrared, Attenuated total reflectance infrared and raman spectroscopy [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2010, 30(11): 2936–2940.
- [27] 莫欣欣, 孙通, 刘津, 等. 近红外光谱法定性检测菜籽油中多效唑残留[J]. 分析试验室, 2017, 36(7): 758–763.
- Mo XX, Sun T, Liu J, *et al.* Qualitative detection of paclobutrazol residue in rapeseed oil based on near infrared spectroscopy [J]. Chin J Anal Lab, 2017, 36(7): 758–763.
- [28] 顾勇, 彭海根, 夏春, 等. 烟叶种植过程中专用化肥和农药的近红外快速鉴别[J]. 江西农业学报, 2018, 30(4): 88–92.
- Gu Y, Peng HG, Xia C, *et al.* Fast discrimination of dedicated chemical fertilizer and pesticide applied in tobacco planting by using NIR spectra [J]. Acta Agric Jiangxi, 2018, 30(4): 88–92.
- [29] 陶士强, 吴福安. 应用近红外光谱分析技术检测毒死蜱的含量[J]. 中国蚕业, 2018, 39(2): 6–9.
- Tao SQ, Wu FA. Detection of chlorpyrifos by near infrared spectroscopy [J]. Chin Seric, 2018, 39(2): 6–9.
- [30] 索少增, 刘翠玲, 吴静珠, 等. ATR-FTIR 光谱法快速测定农药溶液含量[J]. 农机化研究, 2012, 34(3): 172–175.
- Suo SZ, Liu CL, Wu JZ, *et al.* Rapid determination of pesticide contents in solution based on ATR-FTIR technology [J]. J Agric Mech Res, 2012, 34(3): 172–175.
- [31] 王雅静. 对食品-农药的光谱技术预测模型的研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2018.
- Wang YJ. Research on the prediction model of the spectral technology of food and pesticide [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2018.
- [32] 周冰谷, 花振新, 杨荣, 等. 近红外光谱技术在食品微生物检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(16): 5393–5398.
- Zhou BG, Hua ZX, Yang R, *et al.* Application of near-infrared spectroscopy in food microorganism detection [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(16): 5393–5398.
- [33] Kou X, Chen Q, Li X, *et al.* Quantitative assessment of bioactive compounds and the antioxidant activity of 15 jujube cultivars [J]. Food Chem, 2015, 173: 1037–1044.
- [34] Jiang T, He F, Han S, *et al.* Characterization of cAMP as an anti-allergic functional factor in Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) [J]. J Funct Foods, 2019, 60: 103414.
- [35] 林忠敏, 赵晓军, 赵子俊, 等. 红枣果实黑斑病的病原分离和鉴定[J]. 山西农业科学, 2001, (1): 74–77.
- Lin ZM, Zhao XJ, Zhao ZJ, *et al.* The isolation and identification of pathogens on jujube alternaria and phoma blight [J]. J Shanxi Agric Sci, 2001, (1): 74–77.

- [36] 池振江, 孙洁, 李进, 等. 4 种生物农药对新疆枣果黑斑病的室内及田间药效试验[J]. 农药, 2014, 53(7): 515–517.
- Chi ZJ, Sun J, Li J, *et al.* Toxicology and field efficacy of 4 biological fungicides for controlling jujube black spot disease in Xinjiang [J]. Agrochemicals, 2014, 53(7): 515–517.
- [37] 罗华平, 卢启鹏, 丁海泉, 等. 南疆红枣品质近红外光谱在线模型参数的实验研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(5): 1225–1229.
- Luo HP, Lu QP, Ding HQ, *et al.* Study on online detection modeling parameters of jujube internal quality of southern Xinjiang with near infrared spectrometric techniques [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2012, 32(5): 1225–1229.
- [38] 马庆华, 续九如, 王贵禧, 等. 冬枣百菌清、氯氰菊酯和氰戊菊酯残留的研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(15): 51–54.
- Ma QH, Xu JR, Wang GX, *et al.* Determination of Chlorothalonil, Cypermethrin and Fenvalerate Pesticide residues in 'Dongzao' (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) [J]. Chin Agric Sci Bull, 2009, 25(15): 51–54.
- [39] 赵笑天, 史惠娟, 原超, 等. 鲜枣干枣和裂果枣中 9 种真菌毒素及 77 种农药残留的分析与检测[J]. 农产品加工(学刊), 2011, (3): 61–67.
- Zhao XT, Shi HJ, Yuan C, *et al.* Analysis and detection 9 mycotoxins and 77 pesticides residue in jujube dates [J]. Acad Period Farm Prod Proc, 2011, (3): 61–67.
- [40] Zhao L, Liu F, Ge J, *et al.* Changes in eleven pesticide residues in jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) during drying processing [J]. Drying Technol, 2017, 36(8): 965–972.
- [41] Ebeydulla R, Ali M, Liang Z, *et al.* Bioactive, nutritional composition, heavy metal and pesticide residue of four Chinese jujube cultivars [J]. Food Sci Biotechnol, 2018, 27(2): 323–331.
- [42] 李安, 潘立刚, 聂继云, 等. 北方地区枣果农药残留风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(11): 4438–4446.
- Li A, Pan LG, Nie JY, *et al.* Risk assessment of pesticide residues in jujube from northern area [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(11): 4438–4446.
- [43] 孟晓萌, 朱风涛, 闫新焕, 等. 超声萃取-气相色谱-质谱联用法检测干制红枣中 17 种农药残留[J]. 食品科技, 2015, 40(11): 282–287.
- Meng XM, Zhu FT, Yan XH, *et al.* Determination of 17 pesticide residues in dry-cure red jujube using ultrasound extraction by gas chromatography-mass spectroscopy [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(11): 282–287.
- [44] 杨巍. 干果中多种农药残留检测技术研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2016.
- Yang W. Application study on the analysis method of pesticide residues in dried fruits [D]. Shihezi: Shihezi University, 2016.
- [45] 云鹏, 刘印平, 杨立新, 等. 冷冻干燥法在气相色谱法测定干枣中 7 种拟除虫菊酯类农药残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(10): 3855–3862.
- Yun P, Liu YP, Yang LX, *et al.* The application of freezing-drying method for determination of 7 kinds of pyrethroid pesticides residues in dried jujube by gas chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(10): 3855–3862.
- [46] 郝变青, 秦曙, 王霞, 等. 山西果品主产区苹果、梨、桃和枣果实农药残留水平及评价[J]. 山西农业科学, 2015, 43(4): 452–455.
- Hao BQ, Qin S, Wang X, *et al.* Detection and evaluation of pesticide residues in apple, pear, peach and jujube in Shanxi [J]. J Shanxi Agric Sci, 2015, 43(4): 452–455.
- [47] 赵笑天, 史惠娟, 原超, 等. 鲜枣干枣和裂果枣中 9 种真菌毒素及 77 种农药残留的分析与检测[J]. 农产品加工(学刊), 2011, (3): 61–67.
- Zhao XT, Shi HJ, Yuan C, *et al.* Analysis and detection 9 mycotoxins and 77 pesticides residue in Jujube dates [J]. Academic Periodical Farm Products Process, 2011, (3): 61–67.
- [48] 何伟忠, 陶永霞, 闫巧俐, 等. 新疆红枣农药残留风险评估与排序[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 202–206.
- He WZ, Tao YX, Yan QL, *et al.* Risk assessment and hazard rank of pesticide residues in jujube from Xinjiang [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(21): 202–206.
- [49] 沈慧慧, 李晓岩, 苏敏, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法快速检测阿克苏红枣中 29 种农药残留量[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(24): 8410–8417.
- Shen HH, Li XY, Su M, *et al.* Rapid determination of 29 pesticide residues in Aksu jujube by QuEChERS-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(24): 8410–8417.
- [50] 胡皆汉, 郑学仿. 实用红外光谱学[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- Hu JH, Zheng XF. Practical infrared spectroscopy [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [51] 王宗明, 何欣翔, 孙殿卿. 实用红外光谱学[M]. 第二版. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- Wang ZM, He XX, Sun DQ. Practical infrared spectroscopy [M]. Second edition. Beijing: Petroleum Industry Press, 1990.
- [52] 王秀菊. 中红外光谱在食品品质分析中的深度应用与前景[J]. 现代食品, 2020, (2): 114–115.
- Wang XJ. Deep application and prospect of mid-infrared spectroscopy in food quality analysis [J]. Mod Food, 2020, (2): 114–115.
- [53] 吴昕如, 赵武奇, 蓝海芳, 等. 近红外光谱技术检测猕猴桃中氯吡脞的方法研究[J]. 农产品质量与安全, 2019, (5): 25–29.
- Wu XR, Zhao WQ, Lan HF, *et al.* Detection of clopiride in Kiwifruit

by near infrared spectroscopy [J]. Qual Saf Agro-Products, 2019, (5):

25-29

[54] 张令标. 基于高光谱成像技术的红枣表面农药残留无损检测的研究 [D]. 银川: 宁夏大学, 2014.

Zhang LB. Non-destructive pesticide residues of red Jujube surface by hyperspectral imaging technology [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2014.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介

王 贤, 实验师, 主要研究方向为农产品质量安全。

E-mail: wangxian_707@163.com

何伟忠, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全。

E-mail: hewei198112@126.com

“食品生物技术”专题征稿函

食品生物技术是生物技术在食品原料生产、加工和制造中的应用的一个学科。它包括了食品发酵和酿造等最古老的生物技术加工过程, 也包括了应用现代生物技术来改良食品原料的加工品质的基因、生产高质量的农产品、制造食品添加剂、植物和动物细胞的培养以及与食品加工和制造相关的其他生物技术, 如酶工程、蛋白质工程和酶分子的进化工程等。生物技术在食品领域中日益显示其巨大的作用与意义。

鉴于此, 本刊特别策划“食品生物技术”专题。专题将围绕基因工程、细胞工程、蛋白质工程、酶工程、分子生物学技术、免疫学技术、基因芯片和生物传感器等生物技术在食品加工生产与食品保鲜及食品安全检测与控制的应用等方面展开, 基于技术原理、技术特点、优势与局限性、影响因素、工艺及设备、应用实践等各个方面展开讨论, 同时该专题也关注转基因食品的安全性评价与管理, 本专题计划在 2020 年 11 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员及编辑部全体成员特别邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述及研究论文均可, 请在 2020 年 9 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题食品生物技术)

网站投稿: www.chinafoodj.com(备注投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者登录-注册投稿-投稿选择“专题: 食品生物技术”)

邮件投稿: E-mail: jfoodsq@126.com(备注: 食品生物技术专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部