

# 近红外光谱技术在葡萄及其制品品质检测中的应用研究进展

张 静<sup>1,2</sup>, 徐 阳<sup>1</sup>, 姜彦武<sup>1</sup>, 郑成宇<sup>2</sup>, 周 军<sup>1,2</sup>, 韩长杰<sup>1\*</sup>

1. 新疆农业大学机电工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052

2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310058

**摘 要** 葡萄具有丰富的营养价值、药用价值和经济价值,是世界上种植面积最大的水果之一。根据人们的消费需求及产品的贮运要求,葡萄被加工成葡萄干、葡萄汁、葡萄酒、葡萄籽油等常见葡萄制品。基于食品安全的关注以及高品质果蔬农产品的需求,如何快速有效地评价葡萄及其制品的质量已成为当务之急。随着无损检测技术及装备的快速发展,近红外光谱(NIR)技术因其快速、无损、精确、经济及便于在线分析的优点,也逐渐被应用在果蔬等农产品质量品质检测领域。近年来,国内外学者利用 NIR 技术在不损坏被检测葡萄及其制品的前提下,结合化学计量法、主成分聚类分析(PCA)、偏最小二乘判别分析(PLS-DA)、主成分回归(PCR)、偏最小二乘回归(PLSR)、支持向量机(SVM)及神经网络(NN)等数据处理方法探究了糖、酒精、酸等一般成分及色素、单宁、芳香物质等特有成分含量与有效光谱信息的关联性,以此建立了葡萄及其制品主要品质指标的定性鉴别与定量分析模型,为便携式近红外葡萄品质检测设备的研制和在线葡萄汁、葡萄酒酿制过程监测系统的开发提供了一定技术支持。文章系统概述了近十年来国内外 NIR 技术在葡萄、葡萄酒、葡萄汁及葡萄副产物检测中的应用现状,旨在为葡萄及其制品在后续分类鉴定与品质评价研究方面提供参考。研究表明 NIR 技术通过定量定性分析可实现葡萄复杂理化成分的多组分检测和分类鉴别,在测定葡萄理化特性与内部品质方面的研究已经有了一定的进展,且在葡萄酒、葡萄汁的品质过程监测和定性鉴别方面的研究应用逐渐增多,并逐步应用于葡萄皮中多酚、花青素等葡萄副产物分析,以及葡萄藤、葡萄叶营养生长状况监测等其他方面,进一步证实了 NIR 技术正成为检测葡萄及其制品品质的一种有效工具,为进一步提高葡萄及其制品品质价值以及实现葡萄果园的实时、高效生产管理提供了技术支持,应用前景极为广泛。如何深入挖掘葡萄及葡萄制品不同类检测数据所反映信息的内在关联性,结合视觉、味觉、嗅觉等多源信息融合技术建立预测精确度更高、更稳健的模型去全面评价葡萄生产、果园管理、成熟期收获及产后加工全过程,实现对葡萄及其制品生产全过程质量控制和在线监测将成为今后的发展趋势。

**关键词** NIR; 无损检测; 模型; 葡萄; 品质

**中图分类号:** S123 **文献标识码:** R **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)12-3653-07

## 引 言

近红外(near infrared, NIR)光谱技术是利用波长介于780~2 500 nm之间的近红外线照射被检测样品,通过检测器分析样品反射、吸收或透射的有效光谱信息,以此确定样品物质的化学成分和品质属性的一种无损检测技术,具备快速、检测成本低等优点。自20世纪80年代美国Norris提出将NIR分析技术应用到农产品品质检测以来,国内外学者逐渐利用该技术对鲜食果蔬、谷物、肉制品等品质检测进行了

广泛研究,成为一种实现果蔬在线品质分级和预测的一种重要技术手段,并得到了广泛认可。

葡萄是世界上种植面积最大的水果之一,也是我国生产消费的主要水果之一,产量高、营养价值丰富,除鲜食外,经深加工的葡萄酒、葡萄汁、葡萄干等制品附加值高,种类齐全,深受大众喜爱。近年来消费者对果蔬高品质需求和食品安全关注度越来越高,葡萄及其制品的品质安全检测需求也日益增长<sup>[1]</sup>。随着无损检测技术及装备的快速发展,NIR光谱检测方法越来越多的被应用在葡萄及其制品检测领域,在不损坏被检测葡萄及其制品样品的前提下,探测糖、酒

收稿日期: 2020-10-31, 修订日期: 2021-01-12

基金项目: 农业部农产品产地处理装备重点实验室开放课题基金项目(2016NYZD18004), 天山创新团队项目(2021D14010)资助

作者简介: 张 静, 1989年生, 新疆农业大学机电工程学院讲师 e-mail: Zj\_xjau@vip.163.com

\* 通讯作者 e-mail: hcj\_627@163.com

精、酸等一般成分及色素、单宁、芳香物质等特有成分物料性质的变化。主要系统综述了近十年来近红外光谱(NIR)检测技术在葡萄、葡萄酒以及葡萄汁等制品中的检测应用现状,旨在为其分类鉴定与品质评价研究提供技术参考。

## 1 NIR 技术在葡萄检测中的应用

葡萄的质地选择直接影响着葡萄酒、葡萄汁等制品品质高低和产业效益。采用 NIR 技术可以间接地评估葡萄的生长状态、内部品质及成熟状态,能够为鉴别所需优质的葡萄提供科学依据。对于葡萄品质的检测,主要集中于葡萄可溶性固形物、含酸量、糖酸比、花色苷、多酚等内部品质指标的检测,而对于葡萄穗形、颜色、着色度、果粒尺寸、紧实度、重量、缺陷及洁净度等外部品质指标的检测鲜有报道<sup>[2]</sup>。

### 1.1 成熟度判别与评价

对于葡萄成熟度的判别方式主要分为现场藤上直接检测和实验室浆果单粒检测两种,且主要采用糖度、总可溶性固形物、花青素浓度、花色苷、pH 值等指标来衡量其成熟度。根据上述成熟度指标差异,可以对葡萄成熟状态进行区分。受检测条件和检测精度的限制,国内学者在葡萄成熟度现场分析检测方面的研究较少,而国外学者基于国外较成熟的便携式近红外光谱设备对葡萄开展了大量研究。早期 Larrain 等<sup>[3]</sup>设计了一种便携式藤上葡萄成熟度无损测量仪,通过收集与样品相互作用后的散射光谱,实现对葡萄白利糖度、pH 值和花青素浓度的无损测量。结果表明葡萄成熟度测量仪对不同葡萄品种有较好的校准判别,尤其对白利糖度和 pH 值测量效果良好,但在花青素浓度测量方面,还需要一个更可靠的参照值。该仪器测量时必须确保样品在自然或人造的阴凉处,或在一天中的某些特定时间(太阳光不直接照射到葡萄上)进行测量,因此具有一定的应用局限性。González-Caballero 等<sup>[4]</sup>研究利用 NIR 光谱表征葡萄成熟期间白葡萄和红葡萄生长状态。采用手持式分光光度计(1 600~2 400 nm)在葡萄树上直接标记和分析葡萄品种,探究酿酒葡萄各种构型、成熟阶段和光谱数据之间的关系。研究表明光谱特性可以区分不同葡萄品种成熟的三个阶段(早期、中期和晚期),且基于葡萄糖度变化,通过偏最小二乘判别分析(partial least squares-discriminant analysis, PLS-DA)可以实现对上述酿酒葡萄的分类,并以此确定最佳收获时机。

Urraca 等<sup>[5]</sup>研究了将近红外光谱分析仪作为一种替代湿化学方法监测葡萄果实成熟度的方法。基于 700 个葡萄浆果近红外校准光谱,对比分析了实验室和现场采集条件下葡萄果实中总可溶性固体预测模型的精度,研究表明现场条件下预测精度(RMSEP = 1.68° Brix, SEP = 1.67° Brix)接近实验室湿化学实验数据(RMSEP = 1.42° Brix, SEP = 1.40° Brix)。Costa 等<sup>[6]</sup>使用可见/近红外(visible-near infrared, VIS-NIR)反射光谱法建立了“西拉(Syrah)”和“赤霞珠(Cabernet Sauvignon)”两个品种酿酒葡萄质量与成熟阶段属性的预测模型,试验结果表明利用主成分回归(PCR)、偏最小二乘回归(PLSR)和多重线性回归(MLR)构建的回归模型能够较好预测酿酒葡萄总可溶性固形物和花色苷含量( $R^2 \geq$

0.90)及黄酮类化合物含量( $R^2 \geq 0.70$ )。此外,使用 PLS-DA 可以准确区分葡萄的不同成熟阶段,分类准确率达 93.15%,得到了较好分类效果。图 1 为试验构建的葡萄单粒反射光谱采集系统,测试时将葡萄放置在白色陶瓷板参考平面的中心,通过垂直放置于测量平面的光纤传感器采集光谱信息,分析中去除 350~449 和 1 801~2 500 nm 波段的光谱,以消除过多的随机噪声。

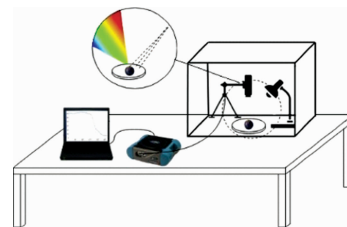


图 1 Vis-NIR 光谱反射率采集系统<sup>[6]</sup>

Fig. 1 Diagram of the Vis-NIR spectrum reflectance acquisition system<sup>[6]</sup>

### 1.2 品质属性区分与健康程度判别

NIR 技术除对葡萄成熟度判别分析外,还适用于不同葡萄多种内部品质属性的区分评价,尤其对单一品种、单一品质指标的检测研究较多。许锋等<sup>[7]</sup>利用 USB2000+ 微型光谱仪(Vis-NIR)采集红提 400~1 000 nm 透过率光谱数据,并通过理化分析测得红提糖度和酸度值,利用 Savitzky-Golay 卷积平滑法对原始光谱进行预处理,最终建立的预测模型具有较高的准确度( $R^2 > 0.94$ ),适用于利用糖度和酸度实现红提的快速无损检测和品质区分。陈辰等<sup>[8]</sup>基于可见-近红外漫反射光谱建立了玫瑰香、马奶、红提等不同品种葡萄贮藏期间可溶性固形物定量预测模型,单一品种预测判定系数达 0.94 以上,进一步证实了通过近红外技术预测葡萄果实可溶性固形物含量实现不同品种葡萄品质区分的可行性。因葡萄酒的风味很大程度上取决于糖和酚类化合物的含量,浆果的分选可以帮助改善葡萄酒的品质。Xiao 等<sup>[9]</sup>利用 Vis-NIR (400~1 100 nm)光谱对葡萄浆果进行分类,应用偏最小二乘回归(partial least squares regression, PLSR)来预测质量参数,包括色彩空间 CIELAB, SSC 和 TP。预测结果表明,Vis-NIR 光谱与完整葡萄果实中存在的可溶性固体含量和总酚类化合物浓度相关,使用 Vis-NIR 光谱通过 PLS-DA 来区分具有不同可溶性固体含量和总酚类化合物浓度的浆果,其准确度大于 77%。此外,肖慧<sup>[10]</sup>、袁雷明<sup>[2]</sup>等基于光谱检测仪器对不同品种葡萄的可溶性固形物、总酚等多个理化指标也进行了建模预测和区分。

近年来,国内外学者逐渐采用近红外光谱仪器测量和感官分析相结合的方法对葡萄内部品质进行检测区分。国外 Parpinello 等<sup>[11]</sup>采用近红外光谱仪器测量和感官分析相结合的方法预测葡萄可溶性固体含量,并对意大利消费者偏好的葡萄进行了分类。Ferrer-Gallego 等<sup>[12-13]</sup>先后利用 NIR 光谱法测定葡萄种子和果皮感官参数,采用改进的 PLS 校正模型,综合考虑了口感(酸味)、质地(涩味、单宁强度、干度和硬度)、视觉(颜色)和嗅觉(香气的强度和类型)属性。结果

表明 NIR 技术在预测葡萄上述感官属性方面具有相当大的潜力,且通过鉴别分析可得到该样品的产地,从而实现葡萄和葡萄酒样本的正确分类。国内袁雷明等<sup>[7]</sup>利用 Vis-NIR 技术检测巨峰葡萄内部品质以及感官偏好等级。试验比较了漫反射、透射两种光谱采集方式对葡萄内部品质的检测准确性,研究表明透射光谱更能表征巨峰葡萄的内部品质信息,PLS 模型对鲜食葡萄可溶性固形物、总酸度的预测均方根误差小,但在感官评价方面,受到消费者感官偏好主观性、多样性的影响,其模型预测性能还有待提高。

此外,葡萄在后续深加工处理前常需进一步检测葡萄质量,尤其是对于机械采收的葡萄,需确保待加工葡萄无泥土、病菌等污染。目前对于葡萄是否受到霉菌、泥土等污染仍以主观视觉分析为主,但部分指标只靠眼睛很难判别。现有酿酒厂对货车上待加工的葡萄大都通过传统人工视觉检查评估葡萄是否健康或受到霉菌感染,具有一定的局限性。为实现酿酒厂葡萄加工前品质的在线规模化检测应用,国外 Giovenzana 等<sup>[14]</sup>研发了一种由卡车采样器(意大利 Maselli CC05)组成的在线葡萄分析仪系统(图 2),该系统配有泵和机械搅龙,以便在不同水平的托运货车上拾取葡萄。但试验时同样需要先将检测样品送到特定分析仪箱中,再进一步结合传统常见的葡萄质量指标(可溶性固形物含量和酸度)进行分析。

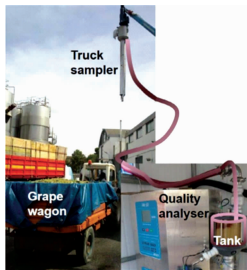


图 2 在线葡萄分析仪系统<sup>[14]</sup>

Fig. 2 On-line grape analyzer system<sup>[14]</sup>

### 1.3 生长过程分析与监测

除成熟度判别和品质评价外, NIR 技术还应用于葡萄浆果生长过程监测和收获时期葡萄的品质分析分类。国外 Urraca 等<sup>[5]</sup>设计了一种集成手持式 NIR 光谱分析仪(图 3),并在葡萄园里进行了系统性实验,进一步优化了光谱采集程序。该分析仪以 8.7 nm(100 个波段)的间隔覆盖 1 595.7~2 396.3 nm 的波长范围,通过非侵入的方式分析采集葡萄漫反射光谱信息,用于评估葡萄总可溶性固体含量,以实现葡萄生长过程成熟状态的监测。测量时需将葡萄放置在与分析仪反射窗口接触的位置,其优点是可直接在葡萄串上收集葡萄光谱,浆果不需要从葡萄藤上悬挂的簇中分离出来。Ferrer-Gallego 等<sup>[15]</sup>使用光纤探头记录了完整成熟的葡萄和葡萄皮在整个成熟过程中的内近红外光谱信息。结果表明使用 NIR 技术和化学计量工具开发的模型可以对整个成熟过程中葡萄皮内总酚类化合物和主要酚类化合物进行定量分析预测。通过对总酚类含量变化的对比分析可实现对葡萄生长过程的实时监测。

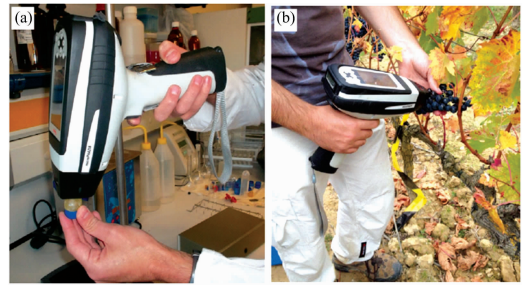


图 3 便携式 NIR 光谱分析仪在实验室(a)和现场条件(b)进行光谱信息采集<sup>[5]</sup>

Fig. 3 Portable NIR spectral analyzer in the laboratory (a), and under field conditions (b) for acquisition of spectral information<sup>[5]</sup>

Piazzolla 等<sup>[16]</sup>利用 NIR 技术对葡萄品质参数(糖,酸度和 pH 值等)进行了测量,并对与鲜食葡萄成熟相关联的光谱变化进行监测,通过选择最佳波长区分不同收获时期的葡萄串并预测鲜食葡萄的总可溶性固体、pH、可滴定酸度、酚和抗氧化活性。研究结果表明分析葡萄在葡萄植株上光谱随时间的变化规律,可以监测葡萄成熟情况,并能根据收获时间对葡萄进行正确分类。Barnaba 等<sup>[17]</sup>利用近红外声光可调滤光片(NIR-AOTF)分光光度计对四个不同的葡萄园进行了三个季节的测试,应用 PLS 和化学计量学方法,建立了用于估计几种酶学参数的预测模型,并使用傅里叶变换红外光谱(FTIR)进行参考分析。研究表明 NIR 光谱法可在葡萄栽培中直接用于田间研究监测葡萄成熟发育情况。

## 2 NIR 技术在葡萄酒检测中的应用

葡萄酒是以鲜葡萄或葡萄汁为原料,经过发酵酿制而成。葡萄酒中总糖量、挥发酸、单宁等是影响葡萄酒质量和决定葡萄酒风味、口味及品质的重要指标。近年来,随着国内市场需求不断加大,我国已成为世界上葡萄酒消费增长最快的国家之一。NIR 技术作为一种快速无损、简便高效的鉴别技术,也被广泛应用于葡萄汁、葡萄酒的品质检测和定性鉴别。NIR 技术在葡萄酒行业中的早期研究是将少量标准成分(如乙醇、果糖和酒石酸等)添加到红葡萄酒和白葡萄酒中,以分析近红外吸收信号的差异。该技术的使用可减少葡萄酒品质检测过程的分析步骤,缩短分析检测时间,并对发酵过程和状态进行实时监测。

### 2.1 品质检测

国内 Yu 等<sup>[18]</sup>探讨了基于主成分分析(principal component analysis, PCA)的 NIR 光谱与径向基函数神经网络(radial basis function neural network, RBFNN)和最小二乘支持向量机(least squares-support vector machines, LS-SVM)相结合的方法,用于对不同葡萄品种酿造的葡萄酒进行分类,并比较了不同预处理方法(标准正态变量 SNV 和乘积散射校正 MSC)对分类结果的影响。结果表明:使用具有最佳 RBFNN 参数的 NIR 预处理光谱数据可产生很高的正确分类率,而基于 MSC 预处理的 LS-SVM 方法具有最佳的识别率,

两种葡萄酒的鉴别准确率可达 96.67% 和 100%。进一步说明 NIR 光谱法结合化学计量学和适当的光谱数据预处理, 具有快速鉴别酿酒葡萄品种以及无损区分葡萄酒的能力。李霞<sup>[19]</sup>确定了赤霞珠干红葡萄酒主要成分(还原糖、总浸出物、蛋白质、酒精度、总酸、总糖、挥发酸、单宁等)的近红外光谱特征波段, 较全面地建立了各品质指标的定量检测模型。模型对挥发酸、pH 值、酒精度、总浸出物和总酚的检测效果较好。国外 Cozzolino 等<sup>[20]</sup>开发了一种适用于商业葡萄酒生产设施中的大规模成分分析方法, 该方法利用 Vis-NIR 分光光度计对红葡萄样品进行反射率分析, 获得的光谱和分析数据被用来建立 PLS 模型来预测干物质含量和浓缩单宁浓度, 且该方法也可以测量红葡萄匀浆中的其他重要参数, 如总花青素、总可溶性固形物和 pH 值, 为葡萄酒无损品质检测提供了参考。Carames 等<sup>[21]</sup>采用 NIR 光谱法测定葡萄汁中总酚和花青素的含量, 采用 PLSR 方法建立校正模型, 对葡萄汁中总酚和花青素进行预测。研究表明 NIR 技术在预测总酚含量( $R^2 = 0.96$ )方面比花青素( $R^2 = 0.84$ )有更好的预测效果。

## 2.2 掺假鉴别与产地区分

葡萄酒带有浓厚的葡萄原产地地域特点与个性, 利用光谱等无损检测手段有效确定葡萄酒年份、品种和产地, 获取葡萄酒质量相关信息和鉴别真伪对保障产品安全和品质具有重要的意义。国外学者利用 NIR 技术对葡萄酒掺假鉴别的研究较少, 而国内学者大都结合 PLS-DA 法建立基于 NIR 光谱的葡萄酒产区判别模型, 从而实现葡萄酒不同产区的判别分析, 且近年来通过近红外(NIR)与中红外(MIR)等光谱信息融合技术, 进一步扩大了信息来源, 提高了模型判别精度。Jin 等<sup>[22]</sup>综合应用了 MIR 光谱、NIR 光谱、电子舌(E-tongue)和顶空固相萃取及气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)等多元分析技术进一步探索用于葡萄酒判别的仪器测定数据。试验结果表明: MIR 和 NIR 光谱不足以鉴别赤霞珠葡萄酒样品, 但与灰色关联度分析(GRA)结合后可以鉴别, 此外, 电子舌与 PCA 联合能够区分掺假的葡萄酒样品, HS-SPME-GC-MS 基于挥发性化合物的详细信息, 结合 PCA 同样可对葡萄酒进行一致的区分。

## 2.3 发酵过程监测

含糖量、酒精度、滴定酸、pH 值等参数是葡萄酒重要的理化指标, 在葡萄酒发酵及后期管理过程中也需要实时监测。国内贾柳君<sup>[23]</sup>基于 NIR 技术分别建立了酿酒葡萄品种赤霞珠的主要品质指标(总糖、总酸、有机酸)、葡萄酒发酵液品质指标(总糖、酒精度)及葡萄酒品质指标(总糖、总酸、干浸出物、挥发酸等)的含量测定模型, 为 NIR 技术在葡萄酒生产过程的监控提供了技术借鉴。国外 Juan Fernández-Novales 等<sup>[24]</sup>评估了 NIR 光谱用于预测成熟葡萄酿酒和陈酿过程中糖含量变化的可行性。对一组 146 个葡萄样品在 NIR 区域(800~1 050 nm)进行光谱采集, 并采用 PCA, PLS 和多元线性(MLR)回归建立校准模型, 用于提高光谱解释葡萄、葡萄汁和葡萄酒中糖含量精度的校准方法。结果表明: NIR 技术可用于预测葡萄成熟期间以及白葡萄酒和红葡萄酒发酵和陈化过程中糖含量的变化。Cozzolino 等<sup>[25]</sup>将 NIR

技术应用于葡萄生产的多个阶段, 对红葡萄和白葡萄的总花青素(颜色)、糖、pH 值和酸度进行了检测分析, 并使用光衰减全反射(ATR)对葡萄酒发酵过程中酵母菌株进行检测; 利用近红外分析仪对葡萄酒中的酒精含量进行常规分析, 实现对葡萄酒品质的评分和预测。此外, Lorenzo 等<sup>[26]</sup>通过气相色谱分析技术, 分析和量化了属于不同地理区域的几种葡萄酒的发酵挥发物, 并使用 PLSR 建立了近红外所获得的光谱信息与这些挥发物的相关性, 为采用 NIR 光谱法快速测定陈年红葡萄酒中的发酵挥发物提供了新的思路。

葡萄汁作为葡萄的另一种加工产品以及葡萄酒的原材料, Preys 等<sup>[27]</sup>也结合 NIR 光谱技术和化学计量学法探究了葡萄汁浑浊介质中光谱散射变化与品质指标关系, 从而使这项技术能够用于商业酿酒厂的发酵监测。Manley 等<sup>[28]</sup>尝试对葡萄汁中的游离氨基氮(FAN)进行 NIR 校准, 并评估葡萄酒的苹果酸发酵状态, 尽管这些校准信息不能准确地量化目标化合物(苹果酸、乳酸、FAN)的浓度, 但通过类比法独立建模, 可以区分高、中和低浓度组葡萄汁。

## 3 NIR 技术在其他方面的检测应用

葡萄产量的大幅增加及优质化要求, 促进了 NIR 技术在葡萄、葡萄汁和葡萄酒方面的检测应用。基于 NIR 技术不仅可以分析葡萄、葡萄汁与葡萄酒中的成分, 还可应用于葡萄副产物与葡萄作物生长状况的监测分析。目前已有利用 Vis-NIR 光谱系统对葡萄副产品葡萄籽油掺伪进行定性鉴别的报道, 且国外学者利用 NIR 技术在葡萄作物生长状况监测等方面已做出了探索。

### 3.1 葡萄皮可提取物分析

Baca-Bocanegra 等<sup>[29]</sup>使用便携式微型近红外分光光度计(908~1 676 nm), 分析记录了两个不同收获年份的葡萄园完整葡萄和葡萄皮的光谱(图 4), 研究发现光谱数据与红葡萄皮中可提取的多酚(总酚、花色苷和黄烷醇)呈现一定的相关性。同样 Julio Nogales-Bueno<sup>[30]</sup>等也利用 NIR 高光谱成像系统(900~1 700 nm)记录葡萄采收时的高光谱图像。通过改进的 PLSR 方法, 对光谱数据进行了一系列的预处理, 并与

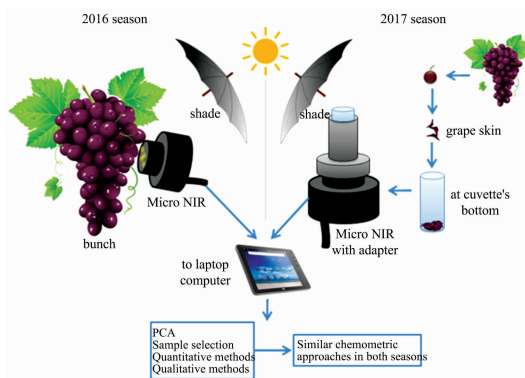


图 4 葡萄系统试验设计示意图<sup>[29]</sup>

Fig. 4 Schematic representation of the experimental design for systematic experiment of grape<sup>[29]</sup>

红葡萄果皮中可提取的多酚(总酚、花青素和黄烷醇)进行了关联,为快速筛选完整葡萄中可提取的多酚类化合物提供了良好的方法。

### 3.2 葡萄藤营养状况评估

为监测葡萄藤营养状况, Cuq 等<sup>[31]</sup>使用 NIR 光谱与化学计量结合的方法,对大量新鲜和干燥的藤本器官样品进行 NIR 光谱分析,获得干物质(DM)中 C, H 和 S 等元素的相对含量以及 C 和 N 比,利用 PLSR 模型进行了预测检验,试验结果证实了 NIR 光谱技术可用于评估葡萄中氮营养状况并检测 C、N 比。

### 3.3 葡萄叶片状态分析

除葡萄藤外,葡萄叶片更能反映葡萄作物的生长状态。Giovenzana 等<sup>[32]</sup>使用 Vis-NIR 和 NIR 光谱分别进行葡萄叶片状态分析,提出了一种基于简化光学器件的叶片水势预测候选变量的选择方法,以此探讨测试了利用两种便携式光学设备(分光光度计)对葡萄叶片水分状况进行快速、无损评价的潜在有效性,研究得出 Vis-NIR 和 NIR 光谱技术可以直接取代常规繁琐的葡萄叶片水状态评估技术,从而为葡萄园灌溉计划的合理制订提供有用信息。

## 4 结 论

中国作为葡萄生产和消费大国,消费者更多关注葡萄及

其制品的质量品质、风味品质与安全品质等。随着光谱技术的发展,国内外运用 NIR 光谱分析技术测定葡萄理化特性与内部品质方面的研究已经有了一定的进展,通过定量和定性分析可实现葡萄复杂理化成分的多组分检测和分类鉴别。而且 NIR 技术应用在葡萄酒、葡萄汁等葡萄制品的品质过程监测和定性鉴别方面的研究逐渐增多,并逐步应用于葡萄皮中多酚、花青素等葡萄副产物分析以及葡萄藤、葡萄叶营养生长状况监测,进一步证实近红外光谱技术正在成为检测葡萄及其制品品质的一种有效工具,符合现代社会对食品安全检测技术的简便、快速、无损、实时在线和现场化测定的要求,为进一步提高葡萄及其制品品质价值以及实现葡萄园的实时、高效生产管理提供技术支持,应用前景极为广泛。

当前对于葡萄及其制品的品质检测大多仍停留在实验室阶段,因检测条件和外部环境的差异,很少应用于实际在线生产。虽然基于现有红外光谱仪器实现了部分品质指标的检测和评价,但要通过精确解谱来确定影响品质的特征因素,仪器和模型的精度、适应性以及通用性有待进一步解决。如何更多地深入挖掘葡萄及葡萄制品不同类检测数据所反映信息的内在关联性,结合视觉、味觉、嗅觉等多源信息融合技术建立更稳健、预测精确度更高的模型去全面评价葡萄生产、果园管理、成熟期收获及产后加工全过程,实现对葡萄及其制品生产全过程质量控制和在线监测将成为今后的发展趋势。

## References

- [1] ZHAO Shan-shan, LI Min-min, XIAO Ou-li, et al(赵珊珊, 李敏敏, 肖欧丽, 等). Journal of Food Safety & Quality(食品安全质量检测学报), 2020, 11(18): 6639.
- [2] YUAN Lei-ming, CAI Jian-rong, SUN Li, et al(袁雷明, 蔡健荣, 孙力, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2017, 37(4): 1220.
- [3] Larrain M, Guesalaga A R, Agosin E. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, 57(2): 294.
- [4] González-Caballero V, Sánchez M T, Fernández-Novales J, et al. Food Analytical Methods, 2012, 5(6): 1377.
- [5] Urraca R, Sanz-Garcia A, Tardaguila J, et al. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(9): 3007.
- [6] Costa D D, Mesa N F O, Freire M S, et al. Postharvest Biology and Technology, 2019, 150: 166.
- [7] XU Feng, FU Dan-dan, WANG Qiao-hua, et al(许锋, 付丹丹, 王巧华, 等). Food Science(食品科学), 2018, 39(8): 149.
- [8] CHEN Chen, LU Xiao-xiang, ZHANG Peng, et al(陈辰, 鲁晓翔, 张鹏, 等). Food Science(食品科学), 2015, 36(20): 109.
- [9] Xiao H, Li A, Li M Y, et al. Scientia Horticulturae, 2018, 233: 99.
- [10] XIAO Hui, SUN Ke, TU Kang, et al(肖慧, 孙柯, 屠康, 等). Food Science(食品科学), 2019, 40(8): 300.
- [11] Parpinello G P, Nunziatini G, Rombolà A D, et al. Postharvest Biology and Technology, 2013, 83: 47.
- [12] Ferrer-Gallego R, Hernández-Hierro J M, Rivas-Gonzalo J C, et al. Journal of Food Engineering, 2013, 118(3): 333.
- [13] Ferrer-Gallego R, Hernández-Hierro J M, Rivas-Gonzalo J C, et al. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(4): 967.
- [14] Giovenzana V, Beghi R, Tugnolo A, et al. Computers & Electronics in Agriculture, 2018, 146: 86.
- [15] Ferrer-Gallego R, Hernández-Hierro J M, Rivas-Gonzalo J C, et al. LWT—Food Science and Technology, 2011, 44(4): 847.
- [16] Piazzolla F, Amodio M L, Colelli G. Journal of Agricultural Engineering, 2017, 48(2): 109.
- [17] Barnaba F E, Bellincontro A, Mencarelli F. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94: 1071.
- [18] Yu J, Zhan J, Huang W. Food Analytical Methods, 2017, 10(10): 3306.
- [19] LI Xia, YU Ya-min, YANG Ji-hong(李霞, 于亚敏, 杨继红). China Brewing(中国酿造), 2018, 37(4): 143.
- [20] Cozzolino D, Cynkar W U, Damberg R G, et al. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(17): 7631.
- [21] Carames E T S, Alamar P D, Poppi R J, et al. Food Analytical Methods, 2017, 10(5): 1609.
- [22] Jin X Y, Wu S M, Yu W J, et al. Journal of AOAC International, 2019, 102(4): 1174.
- [23] JIA Liu-jun, WANG Jian, ZHANG Hai-hong, et al(贾柳君, 王健, 张海红, 等). Food Science and Technology(食品科技), 2017, 42(5): 273.

- [24] Fernández-Navales J, López MI, Sánchez MT, et al. *Food Research International*, 2009, 42(2): 285.
- [25] Cozzolino D, Damberg R, Janik L, et al. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 2006, 14(1): 279.
- [26] Lorenzo C, Garde-Cerdan T, Pedroza M A, et al. *Food Research International*, 2009, 42(9): 1281.
- [27] Preys S, Roger J M, Boulet J C. *Chemometrics & Intelligent Laboratory Systems*, 2008, 91(1): 28.
- [28] Manley M, Van Zyl A, Wolf E E H. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 2017, 22(2): 93.
- [29] Baca-Bocanegra B, Hernández-Hierro JM, Nogales-Bueno J, et al. *Talanta*, 2019, 192: 353.
- [30] Nogales-Bueno J, Baca-Bocanegra B, Rodríguez-Pulido F J, et al. *Food Chemistry*, 2015: 172- 559.
- [31] Cuq S, Lemetter V, Kleiber D, et al. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2019, 8: 1.
- [32] Giovenzana V, Beghi R, Parisi S, et al. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98: 1935.

## Recent Advances in Application of Near-Infrared Spectroscopy for Quality Detections of Grapes and Grape Products

ZHANG Jing<sup>1,2</sup>, XU Yang<sup>1</sup>, JIANG Yan-wu<sup>1</sup>, ZHENG Cheng-yu<sup>2</sup>, ZHOU Jun<sup>1,2</sup>, HAN Chang-jie<sup>1\*</sup>

1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

2. Department of Biosystems Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

**Abstract** Grape, which is one of the fruits with the largest planting area globally, has rich nutritional value, medicinal value and economic value. According to consumers' consumption demands and storage and transportation requirements for products, grapes were processed into common grape products, such as raisins, grape juice, wine, and grape seed oil. Based on the growing concerns over the quality and safety of foods and the demands for high-quality fruits and vegetables, how to quickly and effectively evaluate the quality of grapes and grape products has become urgent and imperative. With the development of non-destructive testing technology and equipment, near-infrared (NIR) spectroscopy technology has been gradually applied in quality testing of fruits, vegetables and other agricultural products due to its advantages of rapid, non-destructive, accurate, cost-effective, and convenient for online analysis. Nowadays, domestic and foreign scholars have combined the methods of chemometrics and data processing methods, such as principal component analysis (PCA), partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), principal component regression (PCR), partial least squares regression (PLSR), support vector machine (SVM), and neural network (NN), etc., to determine the relationship between the general components (such as sugar, alcohol, acid, etc.) and specific components (such as pigments, tannins, aromatic substances, etc.) of grapes and grape products and effective spectral information non-destructively using NIR technology. The correlation between the content of quality components and spectral information has been explored to establish qualitative and quantitative analysis models for the main quality indicators of grapes and grape products, which provided some technical supports for the development of portable near-infrared inspection equipment for grape and online monitoring system for grape juice and wine brewing process. This review systematically summarized NIR technology's domestic and foreign application status in grapes, wine, grape juice and grape products in the past ten years for the first time, aiming to provide technical reference for the subsequent classification and identification and quality evaluation of grapes and grape products. Studies have shown that NIR technology could achieve multi-component detection and classification identification of grapes' complex physical and chemical components through quantitative and qualitative analysis. The research on the determination of physical and chemical properties and internal quality of grapes had made great progress, and the research and application of monitoring and qualitative identification of wine and grape juice are gradually increasing. They were gradually applied to the analysis of grape products, such as polyphenols and anthocyanins in grape skins, and the monitoring of the nutritional growth status of grapevines and grape leaves. This further confirmed that NIR technology is emerging as an effective detection tool for the quality evaluation of grape and grape products, improving the quality values of grapes and grape products and providing technical support for real-time and efficient production management have a broad range of applications. For the future research, to sense grape information during the process of growth, harvest, and post-harvest production, and realize quality control and on-line monitoring of grape and its products in the whole production process, studies are heading to investigate the correlation between the spectral information reflected by the detection data of different categories and the inherent quality of grapes and grape products, and build a robust prediction model with high accuracy based on the multi-source information fusion technology of vision, volatile, taste, and smell.