

稻米品质检测技术的研究进展

孔宪琴, 胡光莲, 张小惠*, 李春生 (中国水稻研究所, 浙江杭州 310006)

摘要 综述了我国近年来稻米品质检测技术的研究现状与应用。从碾米品质、外观品质、营养品质、蒸煮品质、食味品质5个方面阐述了稻米品质检测技术的研究进展与应用以及存在的问题, 并对今后稻米品质检测技术的发展作出展望。

关键词 稻米; 食用品质; 检测技术

中图分类号 TS212.7 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)01-0028-04

Research Progress of Rice Quality Detection Technology

KONG Xian-qin, HU Guang-lian, ZHANG Xiao-hui et al (Rice Research Institute of China, Hangzhou, Zhejiang 310006)

Abstract The research status and application of rice quality detection technology in recent years in China are reviewed. The research progress, application and existing problems of rice quality detection technology were expounded from 5 aspects of rice milling quality, appearance quality, nutritional quality, cooking quality and eating quality. The future development of rice quality detection technology was prospected.

Key words Rice; Edible quality; Detection technology

稻谷是我国主要粮食作物之一, 其产量占全国粮食总产量的40%左右, 全国60%以上人口以稻米为主食^[1]。长久以来我国稻米产量高居世界第一, 但由于稻米品种品质以及品质检测技术落后等原因, 我国的稻米出口在国际市场上缺乏竞争力, 2010—2012年出口量仅占世界出口总量的1.4%, 且呈逐年递减趋势^[2]。随着人们生活条件的不断改善, 人们对稻米的品质需求越来越高, 有关部门和企业对稻米品质的快速、准确检测技术的需求也日益强烈。对此, 我国先后颁布并更新了一系列有关稻米品质的评价标准, 主要有GB 1354—2009《大米》^[3]、GB/T 17891—1999《优质稻谷》^[4]、NY/T 593—2013《食用稻品种品质》^[5]等, 既为当前稻米品质检测提供了参考, 又有助于今后稻米品种品质的改良, 同时为其检测技术的发展指明了方向。

稻米品质是综合性状, 稻米品质的优劣是品种遗传特性与环境条件影响共同作用的结果。当前国内外评价稻米食用品质主要着重于5个方面, 即碾米品质、外观品质、营养品质、蒸煮品质和食味品质^[6]。碾米品质是指稻谷在碾磨后保持的物理特性, 主要指标包括出糙率、精米率和整精米率等。外观品质是指稻米的外观特性, 主要包括稻米的大小、粒形、透明度、光泽、垩白度等外表特征。营养品质是指稻米中营养成分的含量, 主要营养成分包括淀粉、脂肪、蛋白质、维生素及各种氨基酸和矿物质等。蒸煮品质主要是指稻米在蒸煮过程中表现出来的理化特征, 主要由直链淀粉含量、糊化温度和胶稠度3个指标来评价。食味品质主要是指人们在进食米饭过程中的视觉、嗅觉、味觉、触觉等感受, 如米饭的色泽、香味、黏性、硬度、弹性等, 这些感受在不同地区和不同人群之间有一定的差异^[6-7]。

根据稻米的物理或(和)化学特性, 结合计算机科学、机械与材料科学等其他相关学科的知识, 国内外专家学者研发的稻米品质检测技术与仪器也日臻完善并逐渐应用于实际检测中。

作者简介 孔宪琴(1966—), 女, 浙江萧山人, 农艺师, 从事农业推广研究。*通讯作者, 副研究员, 博士, 从事分子遗传学研究。

收稿日期 2017-11-10

1 稻米品质检测技术研究现状

1.1 碾米品质检测技术 稻米出糙率、精米率和整精米率等碾米品质的测定已有明确的国家或农业部标准, 也是目前最权威且广泛使用的方法。出糙率有常样法与小样法2种标准检测方法^[8-9], 常样法参照农业标准 NY147—88《稻米米质测定》, 小样法参照国标 GB/T 5495—2008《粮油检验 稻谷出糙率检验》。精米率和整精米率的测定参照农业标准 NY147—88《稻米米质测定》和国标 GB/T 21719—2008《稻谷整精米率检验法》。这些标准方法都采用机器加工(脱壳、碾米)结合人工感官筛检的方式, 存在费时费力、一致性差等缺点。应用的仪器有: 实验室砻谷机、碾米机、整米分离机、不同孔径的筛子等。

杨冬梅^[10]以东北粳稻为研究对象, 探讨了筛孔大小和碾磨时间对稻谷出米率大小的影响, 为统一稻谷出米率的检验方法、适应稻谷收购市场快速检测的要求提供了试验数据。王柯^[11]探究了实验室用碾米机的砂轮、磨仓、温升、糠粉累积等因素对稻谷整精米率检测的影响, 为稻米整精米率检测所用的碾米机的改良提供了参考。毛根武等^[12]通过与籼稻、粳稻整精米率标准样品结果的比对和长时间疲劳测试, 研制了一种整精米率高、性能稳定、操作方便的JNM-III型检验用碾米机。

1.2 外观品质检测技术 稻米外观品质的测定, 农业标准 NY147—88《稻米米质测定》亦作出了明确的规定^[8], 包括长宽比、垩白度、垩白大小、透明度的检测。其中, 透明度依靠 DWY-A 型数字式稻米透明度测定仪检测; 长宽比依靠谷物轮廓仪和照相放大机辅助人工读数检测; 垩白度、垩白大小则完全依靠人工感官检测, 费时费力、主观性强。

随着图像处理技术、计算机软硬件技术的迅速发展, 计算机视觉技术在稻米品质尤其是外观品质检测中的应用也日益普及。计算机视觉系统能够快速获取大量信息, 而且能够自动化处理, 便于统计分析和加工控制。计算机视觉技术可以对垩白、粒型、黄粒米率、整精米率、蛋白质含量、直链淀粉含量等品质指标进行测定^[13]。侯彩云等^[14]自行研制了三维图像处理系统, 用于稻米垩白度的定量化测定, 为食品的

定量形态学研究开辟了一条新的研究途径。陈建华等^[15]提出了以改进的最大类间方差方法来自动确定图像分割阈值,采用开运算去除图像中的噪声,使用最小外接矩形方法计算稻米粒型。较人工检测大大提高了稻米粒型检测的速度,而且还有很高的准确度。张巧杰等^[16]研究了一套基于嵌入式计算机系统的稻谷品质快速装置,初步实现了对直链淀粉、垩白度、垩白粒等参数的检测。该装置具有良好的扩展性,无需改动系统硬件,只要通过扩充系统软件的方法,就可以增加大米其他品质参数的检测功能,如异品种粒、色泽等。中日合作研制的JMWT 12型大米外观品质检测仪^[17],采用图像扫描与计算机和专用软件相结合的方式,能客观、快速、准确地对稻米各项外观品质指标进行判定,功能完善,使用便捷。

1.3 营养品质检测技术 稻米的营养品质包含淀粉、蛋白质、脂肪、维生素以及各种矿物质含量等多项指标,其中脂肪、维生素和矿物质含量等指标所占成分比例小,检测技术种类复杂且与其他谷物的检测通用,笔者这里不进行详细阐述。而稻米蛋白质因其合理的蛋白及氨基酸组成表现出优良的营养品质,稻米蛋白质的含量更成为优质稻米划分的主要指标之一。

测定稻米蛋白质最常用的方法是凯氏定氮法,它是测定总氮最为准确的方法之一,也是国内外稻米蛋白质测定普遍应用的标准方法。基本原理是:在催化剂的作用下,硫酸分解氧化有机物,使含氮物转化成硫酸铵;再加入强碱并蒸馏使氨逸出,用硼酸吸收后,用硫酸滴定测出氮含量,乘以氮与蛋白质的换算系数,得到粗蛋白质量^[18]。

除了凯氏定氮法之外,稻米蛋白质的测定还有近红外光谱法、福林-酚试剂反应法、双缩脲分光光度比色法、染料结合分光光度比色法、水杨酸比色法等简便快捷的测定法。无论是双缩脲分光光度比色法、染料结合分光光度比色法,还是水杨酸比色法,均包括对所处理的样品利用分光光度计测定吸光度的步骤,以采集液体的光学信息。利用这种方式进行蛋白质分析,具有灵敏度高、信息采集准确的优点,但检测效率较低,且对被测液体的澄清度和透明度要求较高,很容易受到一些外界因素的干扰,影响所采集信息的准确性。孙建平等^[19]基于样液色度值与蛋白质含量在一定范围内的高度相关性,提出通过采集样液的数字图像信息,进行稻米蛋白质测定的数字图像检测方法。该方法检测结果准确,且检测效率较传统方法显著提高。

1.4 蒸煮品质检测技术

1.4.1 直链淀粉含量检测技术。稻米主要由直链淀粉和支链淀粉组成,两者之和约占稻米成分的90%。稻米中直链淀粉和支链淀粉的比例以及支链淀粉的精细结构决定了水稻籽粒的理化性质和营养品质。直链淀粉含量(AC)值则直接影响了稻米在蒸煮过程中水分的吸收、体积的扩张及饭粒的散裂性等,是决定蒸煮品质最重要的性状之一,也是评价稻米食用品质的重要指标。

目前已开发的直链淀粉含量检测技术可以归为四大类

14种方法^[20]。自1970年首次提出碘比色法测定稻米AC值以来,稻米AC值测定技术不断丰富发展。从单波长比色法,经过改进提出了双波长、多波长比色法,进一步发展出基于碘比色法的一系列新测定技术,如碘亲和测定法、伴刀豆球蛋白法、自动分析检测仪等。一些学者利用稻米理化特性,引进新的检测仪器,开发出近红外光谱分析法、高光谱法、RVA快速劲度分析法等检测手段;以及基于分子基团特性开发出的色谱分析法、差示扫描量热法、非对称流场流分离技术等检测技术。

碘比色法是测定稻米AC值的最经典且最常用的方法。我国推荐试验测定稻米AC值的标准方法有3种,即国际标准ISO 6647-1—2015《稻米直链淀粉含量测定》^[21]、国家标准GB/T 15683—2008《大米直链淀粉含量的测定》^[22]及农业标准NY/T 83—1988《米质测定方法》^[23]。方法大致相似:先将大米粉碎至细粉,使其易于完全分散和糊化;试样脱脂后分散在氢氧化钠溶液中,加入适量碘试剂,于波长720 nm处用分光光度计测定显色复合物的吸光度;并利用马铃薯直链淀粉与支链淀粉混合标样制作的校正曲线,读出样品的直链淀粉含量^[22]。标准方法的主要技术局限性在于前处理较麻烦、操作步骤较繁琐、技术性要求较高。梅淑芳等^[24]提出,可按比例相应减少样品与试剂用量进行的简易测定法,简易法测定值与标准法测定值呈高度正相关($r=0.9996$),绝对误差小于1.2%。

1.4.2 糊化温度检测技术。糊化温度(GT)的检测已有明确的国家标准,主要是将一定浓度的淀粉水悬浮液,按一定温升速率加热,使淀粉糊化,随着温度升高,淀粉充分糊化,产生最高的黏度峰值,此时对应的温度即为糊化温度,测量仪器为Brabender型黏度仪^[25]。

除了国标法以外,还可采用快速黏度分析仪(RVA)、差示扫描量热分析(DSC)、定量差示热分析(DTA)、偏光下双折射现象的马耳他十字(Maltanese Cross)的显微观察、激光光散射法以及核磁共振分析等方法,通过对淀粉糊化过程中的特征黏度、温度值、热焓、微结晶结构等进行分析来检测糊化温度^[26]。这些方法一般是基于热传导或对流间接加热方式,利用糊化过程中黏度、吸收热量或淀粉颗粒吸水膨胀等相关特性进行分析。李里特等^[27]提出了利用通电加热测定淀粉悬浮液的电导率,进而确定淀粉糊化温度的方法,并申请了发明专利。许永伟等^[26]改进了通电加热淀粉悬浮液过程中电导率的测定装置,有效地防止了淀粉悬浮液的沉淀及水分散失,提高了装置的测量精度。

1.4.3 胶稠度检测技术。胶稠度(GC)的检测亦有明确的标准方法:稻米试样经稀碱热糊化后成胶状物质,经冷水浴冷却后,在水平放置的试样管中做缓慢流动延伸,其延伸长度即为胶稠度,可测量求得^[28]。这种方法所用仪器普通,使用药品少,操作过程简单,但检测时要获得理想的数据较难,常常会出现双试验数据超差、重复性不稳定的情况。影响胶稠度测定的因素较多,操作技术看似简单,但实际操作每步都要求精准,对检测人员的操作能力要求较高。

谢黎明^[29]分析了大米胶稠度检测的影响因素,对该标准方法提出了两点改进建议:①样品细度由原标准的“7.2”试样的制备中米粉至少“95%以上通过100目筛”调整为“90%以上通过200目筛”。②由原标准的“7.6”测量米胶长度中测量米胶在“(25±2)℃条件下静置1h”调整为“(22±1)℃条件下静置1h”。

1.5 食味品质检测技术

1.5.1 感官评价法。感官评价法是以品尝人员的感受为计量器,一种以人主观判断为主的测定方法。国家标准 GB/T 15682—2008《粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》测定过程如下:取一定量试样,在规定条件下蒸煮成米饭,品评人员感官鉴定米饭的气味、外观结构、适口性、滋味和冷饭质地等,评价结果以参与品评人员的综合评分的平均值表示^[30]。此法以最直接、最主观的方式评价了稻米的食味品质。但缺点也很明显,感官评定的结果容易受到评价人员的年龄、性别、地区等影响,这就需要多次重复,耗时较长。

1.5.2 理化和仪器测定法。理化和仪器测定法是借助仪器测定稻米的某些理化特性,用图或数学方法来表示评定结果^[6]。相较感官评价法,理化和仪器测定法在结果的客观性和操作的简便性、可重复性上具有明显的优势。下面是近些年用于评价稻米食味品质的常用检测方法。

1.5.2.1 基于稻米的质构特性。稻米的质构特性是指其弹性、硬度、黏度、剪切性等理化指标。这些指标与适口性感官评价指标具有显著的相关性^[31],因此与稻米食味品质密切相关。测定稻米质构特性的仪器有很多:包括质地谱仪、平板塑压计、组织测定仪、改进型托盘天平。如米饭质地测定仪是用马达驱动上下颚运动,通过示波器测定咀嚼时饭粒受应力变化的仪器,用于测定米饭的质地;平板塑压计是在两板中间夹上样品,上面加力,根据试样压碎变形的程度测定黏弹性率;组织测定仪用于测定硬度、黏度、弹性、咀嚼性^[32]。

1.5.2.2 基于稻米的糊化特性。米饭的食味还可由淀粉的糊化特性表示,主要仪器有淀粉黏度谱仪、RAV快速黏度分析仪。两种仪器的特征参数都包括:糊化温度、最高黏度、淀粉崩解值、最低黏度、回冷值等^[33]。上述糊化温度检测技术同样适用于稻米糊化特性的测定。

1.5.3.3 基于稻米的气味特性。米饭气味特性是米饭食味品质检测的重要指标,实际测定一般采用直接主观的感官评价法检测。张玉荣等^[34]通过电子鼻测定15种籼型和15种粳型米饭样品有关气味的10个传感器指标信息,利用主成分分析,分别构建了籼型和粳型米饭的气味品质预测评价模型,建立了基于电子鼻技术的米饭气味评价方法。构建了米饭气味评价模型,分别为 $Z = 0.782Z_1 + 0.126Z_2$ (籼米)和 $Z = 0.838Z_1 + 0.159Z_2$ (粳米),证明了使用电子鼻技术对米饭食味品质中气味特性进行评价的可行性,为米饭气味品质的客观评价探索了一条新途径。

1.5.2.4 其他测定方法。如味度计、Mixolab混合试验仪、近红外评价装置、神经网络法等检测技术。

苏泽胜^[35]采用日本57个水稻品种,较为系统地分析鉴定了味度计测定值与食味品质性状间的相关性,证明了利用味度计是准确、快速、有效地鉴定稻米食味品质优劣的一项重要手段。

李俊辉^[32]探索了Mixolab混合试验仪在稻米食味品质检测上的应用。以国稻1号、国稻8号、长梗稻和糯稻Y4为对象研究了该装置检测稻米食味品质的最适条件;探索Mixolab特征值与稻米食味品质理化指标和稻米食味的关系,证明了Mixolab应用于稻米食味品质检测的可行性。通过选择适宜的Mixolab参数,Mixolab图谱不仅具有很好的稳定性,而且其特征值可很好地表征稻米理化品质和食味品质。

近红外评价装置基于近红外光谱分析技术,通过测定稻米特定化学成分含量,运用计算机及相应软件来计算食味值,从而对稻米食味品质作出评价。运用近红外分析技术均能对影响稻米食味品质的蛋白质含量、直链淀粉含量、糊化温度、胶稠度等作出检测^[36-41]。孙园园^[42]利用近红外谷物分析仪分析构建了预测性能较好的稻米品质特性定标模型,可用于稻米品质的快速检测,并完成了多项品质特性与SSR标记之间的关联分析,为育种材料品质特性的遗传机理提供了参考。

神经网络法基于人工神经网络理论,模拟专家的定量、定性评价工作,进行数据聚类,从而满足稻米品质科学评价的要求。黄丽苏等^[43]利用RBF神经网络模型,对2004年国家南方稻区晚籼优质稻区试品种的品质进行了综合评价。实际仿真结果表明,RBF神经网络用于米质评价是科学有效的,而且方便、快捷,但由于技术难度高,推广困难。

2 发展趋势

近年来稻米品质检测技术发展迅速,逐渐显示出自动化、无损化和综合化等特点。由传统的人工、感官检测,到借助各种仪器进行检测,自动化程度极大提高,尤其在稻米碾米、外观品质检测方面,计算机视觉技术等快速仪器检测法将逐渐取代费时费力、一致性差的人工检测法,成为检测技术的主流;而食味品质的感官检测因其鲜明的主观性,目前无法被仪器完全替代,且感官检测食味品质分级标准逐年精细化,所以一直被采用。

无损检测技术(近红外光谱分析技术、电子鼻技术、计算机视觉技术等)在不破坏待测物原来的物理状态、化学性质等前提下,运用各种物理学方法(光、电、声、图像视觉技术等)从外部给待测物能量,待测物受能量作用反馈信息,从输入和输出的关系可获得待测物不易直接测定的物理化学特性^[44],进而研究稻米的品质。相较于传统的破坏性的检测技术,在可重复性、精确度和操作便捷等方面,都有着长足的进步,近些年被很多学者运用到稻米的品质检测中。

此外,近年来被专家学者普遍研究、应用的检测技术和仪器(如近红外光谱分析技术),在技术仪器构成和应用上都展现出综合化的特征:技术、仪器本身的构成包含了多学科、多领域的知识应用,如计算机科学、机械与材料科学、食品流变学等;在检测稻米品质时,能够综合检测多个稻米品质理

化指标,从而对稻米品质作出多方面的综合评价。并且随着技术的不断研究与发展,稻米品质检测技术会更加简便、精确和全面。

3 展望

随着我国人民生活水平的日益提高,对稻米的品质及检测需求也必将不断提升,稻米品质检测技术的研发与创新难题也不断出现。对于未来稻米品质检测技术的发展,从发展趋势来看,在自动化、无损化、综合化等方面,还需要大量的研究来不断丰富发展当前无法充分满足社会需求的稻米品质检测技术。

自动化方面,更简便、快速、精确的稻米碾米、外观品质检测技术与仪器亟需研发与完善,有望取代费时费力、一致性差的人工检测方法,成为国家标准方法;稻米蒸煮、食味品质相关理化特性指标的自动化检测更需要充分地研发,以期达到能够完全取代人工感官检测的水平。同时也期望能够研发出更多更全面精确的无损化综合检测技术,降低检测技术的专业知识技能要求,增强可操作性,满足市场稻米品质检测需求,造福平常百姓的生活,进而推动我国乃至世界稻米产业贸易的发展。

参考文献

- [1] 庞乾林. 稻米知识纵览[J]. 中国稻米,2004(3):44-47.
- [2] 陈派. 中国与越南、泰国大米出口竞争力比较分析[D]. 南宁:广西大学,2014.
- [3] 国家粮食局标准质量中心. 大米:GB 1354—2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [4] 国家粮食储备局标准质量管理办公室. 优质稻谷:GB/T 17891—1999[S]. 北京:中国标准出版社,1999.
- [5] 农业部稻米及制品质量监督检验测试中心. 食品稻品种品质:NY/T 593—2013[S]. 北京:中国标准出版社,2013.
- [6] 董国军. 分子标记辅助改良稻米品质[D]. 北京:中国农业科学院,2009.
- [7] 李俊辉,朱智伟,谢黎虹. 我国稻米食味品质的研究现状与发展趋势[J]. 中国稻米,2008(2):8-12.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 稻米米质测定:NY 147—88[S]. 北京:中国标准出版社,1988.
- [9] 湖北省粮油食品质量监督监测站. 粮油检验 稻谷出糙率检验:GB/T 5495—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [10] 杨冬梅. 有关稻谷出米率检验的探讨[J]. 粮食加工,2012,37(2):29-32.
- [11] 王柯. 碾米机对稻谷整精米率检测的影响因素[J]. 粮油仓储科技通讯,2012,28(1):47-48.
- [12] 毛根武,杜昌爵,景书斌,等. 一种新型检验用碾米机的研制[J]. 粮食储藏,2016,45(5):48-52.
- [13] 方长云,谢黎虹,李刚,等. 计算机视觉技术在稻米品质检测中的应用[J]. 中国稻米,2008(6):1-4.
- [14] 侯彩云,OSHITA S,SEO Y,等. 3 维图像处理系统在稻米品质检测中的应用研究[J]. 农业工程学报,2001,17(3):92-95.
- [15] 陈建华,姚青,谢绍军,等. 机器视觉在稻米粒型检测中的应用[J]. 中国水稻科学,2007,21(6):669-672.
- [16] 张巧杰,王一鸣,凌云. 稻米品质检测装置研究[J]. 仪器仪表学报,2006,27(6):564-568.
- [17] 于素平. 仪器法检测大米外观品质指标的研究进展[J]. 粮食加工,2010,35(3):33-35,81.
- [18] 商业部粮食储运局. 粮食、油料检验 粗蛋白测定法:GB/T 5511—1985[S/OL]. (2015-08-01)[2017-10-11]. <http://www.doc88.com/p-5761210086426.html>.
- [19] 孙建平,侯彩云,常国华,等. 稻米蛋白质数字图像检测方法的研究[J]. 食品科技,2005(10):77-79.
- [20] 刘姗,王建军,范小娟,等. 稻米直链淀粉检测技术的研究现状与展望[J]. 中国粮油学报,2015,30(3):140-146.
- [21] EN. Rice-Determination of amylose content-Part1:Reference method:ISO 6647-1-2015[S/OL]. (2017-03-07)[2017-10-11]. <http://www.doc88.com/p-1844937021477.html>.
- [22] 湖北省粮油食品质量监督监测站. 大米 直链淀粉含量的测定:GB/T 15683—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [23] 中华人民共和国农业部. 米质测定方法:NY/T 83—1988[S]. 北京:中国标准出版社,1988.
- [24] 梅淑芳,贾莉萌,高君恺,等. 一种稻米直链淀粉含量的简易测定方法[J]. 核农学报,2007,21(3):246-248.
- [25] 农业部谷物及制品质量监督检验测试中心(哈尔滨). 粮油检验 谷物及淀粉糊化特性测定粘度仪法:GB/T 14490—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [26] 许永伟,鲁战会,程永强,等. 电导率法淀粉糊化温度测定及其影响因素的研究[J]. 食品科技,2008(10):199-203,206.
- [27] 李里特,李法德,李再贵,等. 一种测定淀粉糊化温度的方法:021493073[P]. 2003-03-26.
- [28] 国家粮食储备局成都粮储储藏科学研究所. 粮油检验 大米胶稠度的测定:GB/T 22294—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [29] 谢黎明. 大米胶稠度检测结果的影响因素及建议[J]. 粮食科技与经济,2014,39(2):43-44,46.
- [30] 河南工业大学. 粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法:GB/T 15682—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [31] 邢晓丽. 基于仪器法评价米饭食味品质技术的研究[D]. 郑州:河南工业大学,2014.
- [32] 李俊辉. Mixolab 在稻米食味品质检测上的应用研究[D]. 北京:中国农业科学院,2009.
- [33] 胡培松,翟虎渠,唐绍清,等. 利用 RAV 快速鉴定稻米蒸煮及食味品质的研究[J]. 作物学报,2004,30(6):519-524.
- [34] 张玉荣,邢晓丽,何雅蕾,等. 基于电子鼻技术对米饭食用品质中气味的评价[J]. 中国粮油学报,2015,30(9):127-132.
- [35] 苏泽胜. 稻米味度测定值与食味品质性状间的相关性分析[J]. 安徽农业科学,2000,28(2):134-136,138.
- [36] HIMMELSBACH D S,BARTON F E,MCCLUNG A M, et al. Protein and apparent amylose content of milled rice by NIR - FT/Raman spectroscopy[J]. Cereal Chem, 2001, 78(4):488-492.
- [37] 刘建学,吴守一,方如明. 近红外光谱法快速检测大米蛋白质含量[J]. 农业机械学报,2001,32(3):68-70.
- [38] 徐彦,李忠海,付湘晋,等. 近红外光谱技术在稻米品质快速检测中的应用[J]. 食品与机械,2011,27(1):158-161,174.
- [39] 孙园园,蔡怡聪,谢黎虹,等. 近红外光谱分析技术在稻米品质测定和遗传分析中应用研究概述[J]. 中国稻米,2016,22(6):1-3.
- [40] 刘义富,卢义宣,奎丽梅,等. 近红外分析技术在稻米淀粉 RVA 谱特征值测定中的应用[J]. 西南农业学报,2007,20(5):974-977.
- [41] LIU J X,ZHANG Y X,DONG T Y, et al. Development of mathematical model for predicting rice gel consistency by near infrared spectroscopy[J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering,2004,20(3):176-179.
- [42] 孙园园. 稻米品质特性的近红外定标模型构建与遗传关联分析研究[D]. 杭州:杭州师范大学,2016.
- [43] 黄丽苏,姚跃华,匡迎春,等. 神经网络方法在综合评价籼稻品质中的应用[J]. 作物研究,2005,19(3):182-184.
- [44] 郭红利. 猕猴桃的电学特性与无损检测技术的研究[J]. 西北农林科技大学,2004.