

熊书剑,孙卫红.不同干燥技术对稻谷品质影响的研究综述[J].江苏农业科学,2016,44(2):18-22.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.005

# 不同干燥技术对稻谷品质影响的研究综述

熊书剑,孙卫红

(江苏大学食品与生物工程学院,江苏镇江 212013)

**摘要:**干燥是稻谷收获后的重要处理环节,干燥对稻谷品质的影响也是评价干燥工艺的关键因素。总结了国内外关于干燥技术的研究,如热风干燥、远红外干燥、微波干燥、真空干燥、太阳能干燥、过热蒸汽干燥,阐述了不同干燥技术的特点和研究进展,其中对稻谷分程干燥技术进行了重点介绍。还分析了稻谷的外观品质、加工品质、蒸煮食味品质的评价指标及影响机理,论述了我国稻谷干燥技术的发展趋势。

**关键词:**稻谷;干燥;品质

**中图分类号:** TS210.3;S511.09

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2016)02-0018-04

我国稻谷的播种面积、总产、单产均高于其他粮食作物。2009 年我国稻谷产量为 1.95 亿 t,占全球稻谷产量的 37%,在全世界 100 多个生产稻谷的国家中占第 1 位<sup>[1]</sup>。我国稻谷种植分布极广,大致可以秦岭、淮河为界,分为南、北 2 个大的分布区域,南方地区稻谷种植较多。一般根据气候和地域不同,田间收获后的稻谷含水率都有所不同,北方地区一般在较为干燥的秋季收获稻谷,南方地区的稻谷则一般在夏季高湿环境下收获,造成南方地区稻谷含水率更高。含水率过高会造成稻谷贮藏过程中品质劣变,为保证收获后和贮藏过程中稻谷品质的稳定性,对收获后的稻谷进行干燥处理已经成为稻谷加工过程中一项必要的处理环节。一般要求将收获后的稻谷干燥至安全水分,即含水率降到 14%~15% (湿基)<sup>[2]</sup>。在稻谷收获季节,收获后的大批量稻谷须要及时进行干燥处理。近年来随着稻谷产业的发展,稻谷干燥研究也取得不少进展。相比于传统的自然干燥,稻谷干燥机械化能够较大程度满足大批量生产要求,并通过工艺参数设置降低粮食损失,保证稻谷干燥品质<sup>[3-4]</sup>。目前稻谷干燥技术主要包括热风干燥、红外干燥、微波干燥、真空干燥、太阳能干燥、过热蒸汽干燥。热风干燥是应用最为广泛的机械干燥技术,具有节能、干燥品质高等优势。

稻谷是一种假果,其颖果籽粒外层由起保护作用的谷壳包裹<sup>[5]</sup>。结构致密的外壳一方面对颖果起保护作用,另一方面却会阻碍其内部水分转移,加大了干燥难度。同时,由于稻谷还具有热敏性,干燥速度过快、温度过高等不恰当的工艺条件都会引起稻谷品质下降,如,气味和色泽变差、爆腰增加而导致碎米增多、食味下降等,最终降低其经济价值。总的来说,稻谷干燥技术研究对稻谷生产加工意义重大,世界各国学者都开展过大量相关研究工作。本文综合国内外学者在稻谷

干燥技术研究方面取得的成果,综述近年来稻谷干燥品质研究进展,以期为今后研究提供依据。

## 1 主要稻谷干燥技术

### 1.1 热风干燥

热风干燥是目前工业化运用最为广泛的传统稻谷干燥技术之一,该技术一般采用一定量的热空气经过物料表面带走水分,以达到干燥目的<sup>[6]</sup>。该干燥技术操作简单、易控制,传统热风干燥方式主要分为高温快速干燥和低温慢速干燥。高温干燥速度快,但高温往往会造成爆腰严重,且食味品质下降<sup>[7-8]</sup>。出于对稻谷干燥品质的追求,通常也会采用低温慢速干燥工艺。较低的热风温度条件在一定程度上可以保证稻谷干燥后的品质<sup>[9-10]</sup>,但也存在干燥速率低的缺陷,会造成收获后不能及时干燥的稻谷损失严重。

在恒温条件下,稻谷干燥过程和其他干燥过程一样,分为预热升温阶段、等速干燥阶段、降速阶段<sup>[11]</sup>,若直接采用恒温干燥条件,其单位耗能高,且干燥强度低<sup>[12]</sup>。分程干燥是一种在不同稻谷干燥阶段采用不同热风温度、湿度、风速等干燥条件进行分段干燥的干燥方式。20 世纪 70 年代后期,国外就兴起对变风温干燥工艺的研究<sup>[13]</sup>,认为其能显著提高能量利用率。Wisnet 等研究了较高水分干燥段不同热风温度对 3 种泰国香米内部淀粉性质的影响,同时对比完全自然通风干燥过程,结果表明其中 2 个品种干燥前期在 100、125℃ 条件下干燥后稻米的整精米率都比自然通风干燥高<sup>[14]</sup>。这也证明,如果合理设置干燥条件,先高温、后低温的干燥方式也可以获得较高的干燥品质。之后又有研究先采用较高温(40~80℃)热空气将含水率 20%~25% 的稻谷干燥到含水率 18% 之后,再存放于温度 18~30℃、相对湿度 60%~70% 的通风仓内进行就仓干燥至含水率低于 14%,结果证实该两程干燥方式对高湿稻谷干燥能量利用率高<sup>[15]</sup>。相对而言,国内相关研究较为滞后,大多数干燥机仍是以恒定的干燥条件进行设计,对于南方地区高水分稻谷的干燥,这并不满足最有效的操作工艺要求。一些学者对高湿谷物变温干燥进行了研究,认为:高湿稻谷采用逐步升温干燥工艺干燥,在保证品质的前提下,可大大降低干燥能耗<sup>[16-18]</sup>。随后有人提出了稻谷

收稿日期:2015-03-20

基金项目:江苏省高校优势学科建设工程(编号:1033000006);江苏省科技支撑计划(编号:BE2014367)。

作者简介:熊书剑(1992—),女,湖北枝江人,硕士研究生,研究方向为稻谷干燥品质。E-mail: candy\_good@126.com。

通信作者:孙卫红,副教授。E-mail: weihongsun2009@163.com。

分程干燥工艺模型<sup>[19]</sup>:高水分稻谷经高温(50~90℃)干燥至水分为18.0%~18.5%,再进行通风暂存,最后对暂存仓中的低水分稻谷进行低温(45~65℃)干燥,并通过分程干燥工艺和恒温干燥、变温干燥的对比,发现该分程干燥模型在生产效率和节能方面均显示出优势。为了解决高温快速干燥效率和稻谷干燥后品质之间的矛盾,杨国峰等研究了干燥-通风联合干燥工艺参数对稻谷品质的影响,结果发现当干燥温度较高时(>60℃),整精米率可以通过延长缓速时间达到较高水平,但是最终的食味品质总体上会随着干燥温度的升高而降低<sup>[20]</sup>。目前大部分对稻谷分程干燥的研究仍然是从能耗角度分析分程干燥的优势,有关分程干燥对稻谷干燥品质的研究大部分停留在爆腰率和含水率的比较方面,因此笔者等目前的研究工作主要从不同工艺参数的设置对稻谷品质的影响等方面着手。

## 1.2 远红外干燥

稻谷在吸收红外线时,辐射能量被转化为热量,物料水分随之蒸发出来,从而达到干燥目的。在红外线干燥过程中,物料表面的水分持续蒸发吸热,造成其表面温度较低而内部温度较高,这样就形成了与物料内部水分梯度和温度梯度方向相同的情形,相比于热风干燥,可以大大提升干燥速度<sup>[21]</sup>。

远红外辐射的热能远大于近红外辐射,自从日本在20世纪90年代初开始推广远红外干燥设备以来,这种高效、节能、环保的干燥方式正逐步被应用在稻谷及其他粮食的干燥设备中。远红外主要结合热风一起对稻谷进行干燥,Meeso等设计试验,在流化床干燥后对稻谷进行远红外辐射干燥,最后进行适当缓苏,结果显示在流化床干燥阶段稻谷含水率下降至23%后就会对稻米造成损伤,但是若结合远红外干燥,稻谷水分即使低至21%,其品质也无明显变化<sup>[22]</sup>。之后又建立了远红外-流化床分段干燥过程中质热耦合传递模型,并指出远红外辐射干燥对高湿稻谷干燥效率比低湿稻谷干燥效率更高<sup>[23]</sup>,为确定远红外干燥条件提供了理论依据。罗剑毅通过对稻谷的远红外干燥特性和工艺研究,得出远红外干燥稻谷干燥温度、初始含水率、装载量的最佳组合及影响规律<sup>[24]</sup>。运用远红外干燥稻谷,干燥后品质好,设备干燥效率高,占地面积小,但是对大型谷物干燥机运用红外线干燥还存在一定技术障碍。

## 1.3 微波干燥

近年来微波干燥技术发展迅速。微波即波长范围为1mm~1m的电磁波,常用于加热的频率为915、2450MHz<sup>[25]</sup>。物料在微波场作用下,内部分子运动加剧,相邻分子间相互作用可使物料温度迅速上升,加热时间短且均匀<sup>[26]</sup>。将热风、微波薄层干燥对稻谷品质的影响进行对比,发现稻谷微波间歇干燥的干燥速度更快,所需能耗小,且对稻谷的霉菌、细菌有一定抑制作用<sup>[27]</sup>。当前我国微波干燥技术仍处于探索阶段,在实际运用中仍存在诸多困难,如加热功率、工作频率控制不当会引起物料干燥速度过快或加热不均匀等,严重影响物料加工和食用品质。

## 1.4 真空干燥

真空干燥是将物料置于密闭的真空干燥室内,物料内部的水分由于压力差或浓度差扩散到物料表面,再分散到真空室内的低压空间由真空泵抽走,从而达到干燥目的。低温真空干燥能克服传统热风干燥造成的溶质散失和品质下降问

题,适用于稻谷等热敏性物料的干燥。稻谷真空干燥中工艺参数对降水幅度影响的研究表明,干燥时间、真空度、干燥温度是影响谷物干燥降水幅度的3个最主要因素,都与降水幅度呈正相关<sup>[28]</sup>,其影响大小依次为干燥温度>干燥时间>真空度。但由于目前该设备成本高、能耗高,真空干燥还没有得到广泛应用。

## 1.5 太阳能干燥

随着人们资源节约意识不断增强,太阳能作为清洁能源已经被运用到诸多领域,以节省或替换其他不可再生能源。将太阳能作为热量来源也可以很好地解决干燥过程能耗过多的问题。

对于稻谷干燥而言,利用太阳能进行干燥的意义还体现在提高稻谷干燥品质方面。为了使稻谷尽快干燥,并保证干燥后稻谷的加工品质,Meas等对收获后的稻谷进行了当地传统的田间干燥试验,结果表明谷层厚度越薄、翻动频率越高、干燥速率越快、空气流速越小,稻谷的整精米率越高<sup>[29]</sup>。这也证明,即使是利用太阳能的自然干燥过程,干燥条件变化对稻谷的影响也是存在的。虽然及时进行田间干燥能在一定程度上保证稻谷新鲜度,但这种干燥方式的不可控因素较多,干燥后稻谷品质不统一,并不适合大规模生产<sup>[30]</sup>。在用透明材料建造的温室中构建混合的自然对流方式,模拟自然晾晒过程,不仅能耗小,并且可以得到较好品质的稻谷,尤其适合水稻种植面积大、日照时间较长的东南亚国家<sup>[31]</sup>。Paterson等先后针对不同太阳能干燥模式建立了相关模型<sup>[32]</sup>。

国内利用太阳能进行稻谷干燥的研究相对较少,应用也不多,原因主要是干燥温室占地面积大,在偏远农村地区即使有较大场地条件,也主要依靠自然晾晒进行干燥,所以该技术在我国实用性不高。

## 1.6 过热蒸汽干燥

过热蒸汽干燥是一种现代干燥技术,以水蒸汽作为干燥介质,通过过热蒸汽与物料直接接触以减少物料内部水分,使物料得以干燥<sup>[33]</sup>。这种方式最大的优势在于干燥后的废气潜热可以回收,大大提高了能源利用率。另外,过热蒸汽传热系数大,干燥过程也没有传质阻力,所以干燥效率要显著高于热风干燥<sup>[34]</sup>。Rordprapat等通过在稻谷流化床干燥中使用热风、过热蒸汽2种不同干燥介质进行对比,发现后者干燥的稻谷整精米率比前者高,主要是由于过热蒸汽干燥前期稻谷温度满足其内部淀粉颗粒从玻璃态转向橡胶态的条件<sup>[35]</sup>。

对稻谷这种热敏性物料进行干燥时,须要在低压环境下进行过热蒸汽干燥才能避免由于温度过高造成的损失。Kozanoglu等对稻谷低压过热蒸汽干燥过程进行了动力学分析,结果显示蒸汽过热化程度是影响干燥过程的最关键因素,当过热化超过30℃后对干燥过程几乎没有作用,不适用于热敏性物料的干燥<sup>[36]</sup>。过热蒸汽干燥虽然在节能和干燥品质方面都存在优势,但是对于大批量的稻谷干燥,压力、温度都须要调试,技术要求高;此外,要求完全密封的蒸汽环路,也会增加设备的运行和维修成本。

## 2 稻谷干燥品质研究

稻谷作为粮食和商品,干燥过程要求的不仅是去除水分,还须要保证干燥后稻谷的外观品质和食用品质不受破坏。因

此,评价一种干燥技术的优劣,其对稻谷干燥后品质的影响是必要的评判依据之一,其中爆腰率最为重要。但是,仅以控制爆腰率和干燥速率为干燥工艺参数设计标准不够客观和全面。近几年国内外学者对干燥后稻米品质的变化及检测指标开展了很多研究。

## 2.1 外观品质

**2.1.1 色泽、气味** 色泽、气味是最直接影响稻谷作为商品销售的品质之一。干燥后的稻谷,首先须要检测的就是色泽、气味,目前主要依靠感官进行评定。热损伤或焦糊会造成稻米色泽、气味的明显变化。刘诺阳研究认为,稻米光泽随着干燥温度或干燥功率的升高有变暗趋势,初始含水量 26% 的粳稻、籼稻在热风 90 °C 干燥时会产生轻微的不正常气味<sup>[37]</sup>。

**2.1.2 爆腰** 爆腰是稻谷干燥过程中的常见现象,稻谷在经过复杂的热量、质量传递后,如果干燥条件控制不当,稻米颗粒就会产生可见裂纹,增加碾米过程中的碎米率,降低产品品质。所以,国家规定稻谷干燥机对稻谷的爆腰率增值低于 3%<sup>[38]</sup>。对于爆腰产生机理存在不同的理论解释:传统理论认为是水分梯度产生的内部应力超过其本身抗拉强度而导致<sup>[39]</sup>;玻璃化裂纹理论认为外层玻璃态和中心橡胶态交界处产生的裂纹是由于内层、外层热特性、吸湿性、膨胀系数的差异所造成<sup>[40]</sup>;李栋也从多方面分析了稻谷的应力裂纹产生机理,并提出采用低温、大风量及慢速冷却、低温贮藏等措施使稻谷的单裂纹、双裂纹、龟裂纹、总裂纹均降低<sup>[41]</sup>。

许多学者研究了不同干燥条件对稻谷爆腰的影响。刘冬梅等研究证实,干燥速度控制在 5% 以下,采用低温干燥,避免过度干燥,可较好地控制爆腰率<sup>[42]</sup>。但是这种低温干燥周期长、效率低,不能完全满足生产要求。有关单程干燥过程稻谷干燥品质的研究显示,在高湿条件下高温干燥也可以实现,同时适时的缓苏工艺也可有效减少爆腰产生<sup>[43]</sup>。有学者针对缓苏工艺对干燥品质影响的研究表明,缓苏温度越高,缓苏效果越好,对爆腰抑制效果越好<sup>[44]</sup>。也有学者通过试验得出,对于高水分稻谷(含水量 24% 左右),缓苏工艺对爆腰率影响明显,但是缓苏时间大于 2 h 时,稻谷的爆腰率趋于稳定,由此制定了最佳工艺参数为干燥温度 50 ~ 60 °C,缓苏温度 60 ~ 70 °C,缓苏时间 120 ~ 160 min<sup>[45]</sup>。稻谷的爆腰并不单纯产生于稻谷干燥过程,在整个稻谷生产过程,如收割、贮藏、加工都有可能产生爆腰<sup>[46]</sup>,所以研究干燥条件对稻谷爆腰率的影响时也应注意控制其他变量,才能获得更准确的结果。

## 2.2 加工品质

加工品质别称碾米品质,是在稻谷碾米过程中表现的品质特征,包括出糙率、整精米率、碎米率。出糙率主要是由遗传因素决定的,受干燥条件影响较小。曹崇文指出,爆腰的稻谷不一定出现碎米,爆腰率并不能作为干燥品质限制的唯一标准,还应以整精米率作为稻谷干燥品质的另一指标<sup>[47]</sup>。郑先哲等研究表明,爆腰严重的稻谷才会引起整精米率显著下降,同时还建立了爆腰率和整精米率的关系<sup>[48]</sup>。但是整精米率检测繁琐、耗时,一般采用直接碾米后整米占毛谷试样的比例作为整米率进行近似检测。吴建明对采用整米率作为稻谷加工工艺品质检测指标的可行性进行了分析,结果表明该方法的检测结果合理且更直观地表现稻谷的整体品质<sup>[49]</sup>。干燥条件对整精米率的影响和对爆腰率的影响相似,较高的初始含水

率和较高的干燥温度都会引起整精米率下降<sup>[50-52]</sup>。国外研究表明,适当控制谷层厚度也可有效减少整精米率的降低<sup>[53]</sup>。

## 2.3 蒸煮食味品质

蒸煮食味品质是指稻米在蒸煮、食用过程中体现的品质,如色泽、黏度、弹性、酸度、口感等。稻谷干燥条件变化会对稻谷蒸煮特性和食味品质产生一定影响,所以稻谷干燥后的蒸煮食味品质研究对于稻谷干燥工艺改良和稻谷生产加工也非常重要。一般认为,稻谷食味品质和其发芽率存在一定线性关系,发芽率越高,稻谷新鲜度越高,食味品质越好<sup>[54]</sup>。研究证实,20 °C 储藏条件下稻谷的储藏水分在 14% 左右时,稻谷发芽率随着储藏时间的延长并没有明显变化<sup>[55]</sup>,这说明稻谷的干燥终了水分保持在 14% 左右即可保证稻谷在储藏过程中的食味品质。保持稻谷新鲜度的最直接方式是将收获的稻谷及时干燥后保存,研究发现,及时干燥的稻谷食味品质明显高于延时干燥的稻谷<sup>[56]</sup>,存在的主要问题是无法满足大批量稻谷的及时干燥任务。稻谷的一系列理化性质也是构成其蒸煮食味品质的关键因素,如水分含量、淀粉种类及含量、蛋白质含量、脂肪含量等。其中直链淀粉含量是决定稻米蒸煮食味品质的关键因素<sup>[57]</sup>。研究表明,稻谷经过高温(>45 °C)干燥后,米粒内部的淀粉结构由有序排列变得杂乱,最终导致稻米食味下降<sup>[58]</sup>。干燥温度也会对脂肪酸含量产生影响,高温会致使酯酶活性升高,造成储藏期的稻米产生游离脂肪酸,并进一步分解为醛基化合物,从而产生不良气味,使食味下降<sup>[59]</sup>。因此,对稻谷干燥品质的检测不能仅在干燥后,还应时刻关注稻谷储藏期间稻米品质变化,这样才能更全面掌握干燥工艺对稻谷品质的影响。

对大米蒸煮食味品质的评判过程非常复杂,除了依靠感官评定外,往往涉及很多参数的测定,一些学者利用稻米淀粉的 RVA 特征谱进一步探讨其与稻米食味品质的相关性<sup>[60-62]</sup>,使过程得到简化。有研究将干燥后测定的稻谷理化指标与感官评定值建立起相关关系<sup>[39]</sup>,可以排除感官评定的主观因素影响。

## 3 结论与讨论

在干燥技术方面,国内仍然以热风干燥为主、其他干燥方式为辅的发展模式进行研究,近年来相关研究已经取得不少成就,变温干燥、分程干燥等干燥方式也因其展现的优势而逐渐得到重视。但总体来讲,国内对这些新兴干燥方式下干燥品质的系统分析还不够深入,须要开展更多关于其工艺参数设置对品质影响的研究才能更全面评价该技术的适用性。

目前对干燥品质的评判指标还不够完善,对稻谷干燥后的品质缺少整体性评价,因为各特征指标间往往具有相关性,单个指标并不能完整体现稻谷品质的好坏。所以,今后我国稻谷干燥的研究重点之一就是完善稻谷品质的评判体系。

## 参考文献:

- [1] 农业部. 中国农业年鉴[M]. 北京: 农业出版社, 2009.
- [2] 刘厚清, 毛利建太郎, 河野元信. 谈稻谷干燥的意义与干燥工艺[J]. 现代化农业, 2011(9): 47-49.
- [3] 叶元瑜. 我国稻谷干燥技术的发展动态[J]. 粮食加工, 2008, 33(3): 34-38.

- [4] 许朗,李梅艳,刘爱军. 江苏省粮食产量主要影响因素分析[J]. 江苏农业科学,2012,40(5):4-6.
- [5] 周显青. 稻谷加工工艺学及设备[M]. 北京:中国轻工业出版社,2011.
- [6] 叶为标. 谷物干燥方法的研究[J]. 粮食加工,2009,34(1):69-72.
- [7] 郑先哲,赵学笃,陈立. 稻谷干燥温度对稻米食味品质影响规律的研究[J]. 农业工程学报,2000,16(4):126-128.
- [8] 孟宪玲,褚治德,杨俊红. 干燥温度对水稻颗粒爆腰率的影响[J]. 天津大学学报:自然科学与工程技术版,2002,35(4):443-446.
- [9] Wongpornchai S, Dumri K, Jongkaewwattana S, et al. Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105[J]. Food Chemistry, 2004,87(3):407-414.
- [10] Sarker M, Ibrahim M N, Aziz N A, et al. Energy and rice quality aspects during drying of freshly harvested paddy with industrial inclined bed dryer[J]. Energy Conversion and Management, 2014, 77(1):389-395.
- [11] 王继焕,刘启觉. 高水分稻谷分程干燥工艺及效果[J]. 农业工程学报,2012,28(12):245-250.
- [12] 刘怀海,王继焕. 稻谷变温干燥与在线控制研究[J]. 粮油加工,2009(2):89-92.
- [13] Morey R V, Gustafson R J, Cloud H A, et al. Energy - requirements for high - low temperature drying[J]. Transactions of the ASAE, 1978,21(3):562-567.
- [14] Wiset L, Szrednicki G, Wootton M, et al. Effects of high - temperature drying on physicochemical properties of various cultivars of rice[J]. Drying Technology, 2005, 23(9/11):2227-2237.
- [15] Szrednicki G. Corn, rice, and wheat seed drying by two - stage concept[J]. Drying Technology, 2010, 28(6):807-815.
- [16] 王相友,曹崇文. 谷物变风温干燥的研究[J]. 农业机械学报, 1996,27(3):77-82.
- [17] 杨洲,罗锡文,李长友. 高湿稻谷逐步升温干燥工艺试验研究[J]. 农业工程学报,2002,18(6):137-140.
- [18] 江思佳,刘启觉. 稻谷变温干燥工艺研究[J]. 粮食与饲料工业,2009(2):10-12.
- [19] 孙奥. 稻谷分程干燥技术及工艺研究[D]. 武汉:武汉工业学院,2012.
- [20] 杨国峰,周雯,夏宝林,等. 高温连续干燥与干燥-通风联合对稻谷品质的影响[J]. 食品科学,2014,35(17):1-7.
- [21] 李素云,夏朝勇. 红外干燥粮食机理浅析[J]. 粮食与食品工业,2007,14(4):43-45.
- [22] Meeso N, Nathakaranakule A, Madhiyanon T, et al. Influence of FIR irradiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 65(2):293-301.
- [23] Meeso N, Nathakaranakule A, Madhiyanon T, et al. Modelling of far - infrared irradiation in paddy drying process[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(4):1248-1258.
- [24] 罗剑毅. 稻谷的远红外干燥特性和工艺的实验研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [25] 蔡雪梅. 不同干燥方式对稻谷品质及储藏性能的影响[D]. 南京:南京财经大学,2013.
- [26] 雀勇. 粮食微波干燥技术的研究浅探[J]. 南方农机,2008(5):36-38.
- [27] 梁礼燕. 热风、微波薄层干燥稻谷品质研究[D]. 南京:南京财经大学,2012.
- [28] 徐泽敏,殷涌光,吴文福,等. 稻谷真空干燥中工艺参数对降水幅度的影响[J]. 吉林大学学报:工学版,2008,38(2):493-496.
- [29] Meas P, Paterson A H, Cleland D J, et al. Effects of different solar drying methods on drying time and rice grain quality[J]. International Journal of Food Engineering, 2011, 7(5):341-350.
- [30] Sharma A, Chen C R, Vu Lan N. Solar - energy drying systems: a review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(6/7):1185-1210.
- [31] Chua K J, Chou S K. Low - cost drying methods for developing countries[J]. Trends in Food Science & Technology, 2003, 14(12):519-528.
- [32] Paterson A J, Cleland D J. A mathematical model of solar drying of rice[J]. International Journal of Food Engineering, 2012, 8(3):2380-2388.
- [33] 白丽青,马晓建. 过热蒸汽干燥及其在食品干燥中的应用[J]. 农机化研究,2008(9):158-161.
- [34] 王学成,张绪坤,马怡光,等. 过热蒸汽干燥及应用研究进展[J]. 农机化研究,2014(9):220-225.
- [35] Rordprapat W, Nathakaranakule A, Tia W, et al. Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 71(1):28-36.
- [36] Kozanoglu B, Mazarioglu D, Guerrero - Beltran J. Drying kinetics of paddy in a reduced pressure superheated steam fluidized bed[J]. Drying Technology, 2013, 31(4):452-461.
- [37] 刘诺阳. 干燥对稻米物性与食味的影响[D]. 郑州:河南工业大学,2012.
- [38] 曹崇文. 水稻干燥[C]. 第七届全国干燥会议论文集,1999:254-258.
- [39] 孙正和. 稻米爆腰机理与碎米率[J]. 农业工程学报,1995,11(3):173-178.
- [40] Gnossen A G, Siebenmorgen T J. The glass transition temperature concept in rice drying and tempering: effect on milling quality[J]. Transactions of the ASAE, 2000, 43(6):1661-1668.
- [41] 李栋. 稻谷干燥应力裂纹生成扩展及抑制的试验研究和机理分析[D]. 北京:中国农业大学,2001.
- [42] 刘冬梅,刘立意,辜松. 稻谷干燥爆腰的试验研究[J]. 农机化研究,2005(4):167-168.
- [43] Ondier G O, Siebenmorgen T, Mauromoustakos A. Drying characteristics and milling quality of rough rice dried in a single pass incorporating glass transition principles[J]. Drying Technology, 2012, 30(16):1821-1830.
- [44] 夏宝林,杨国峰,刘强,等. 不同缓苏条件对稻谷爆腰率影响的研究[J]. 粮食储藏,2013,42(5):44-48.
- [45] 任广跃,王芳,张忠杰,等. 干燥温度及缓苏操作对稻谷爆腰的影响[J]. 食品研究与开发,2013,34(19):112-114.
- [46] 朱恩龙,郭红莲,李成华. 稻谷爆腰原因的探讨[J]. 农机化研究,2004(3):67-68,70.
- [47] 曹崇文. 对我国稻谷干燥的认识和设备开发[J]. 中国农机化, 2000(3):12-14.
- [48] 郑先哲,周修理,夏吉庆. 干燥条件对稻谷加工品质影响的研究[J]. 东北农业大学学报,2001,32(1):48-52.
- [49] 吴建明. 采用整米率作为稻谷加工工艺品质检测指标的研究[J]. 粮油仓储科技通讯,2010,5:38-42.
- [50] Aquerreta J, Iguaz A, Arroqui C, et al. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(2):611-618.

闫丽,沈明霞,刘龙申,等.猪行为自动监测技术研究现状与展望[J].江苏农业科学,2016,44(2):22-25.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.006

# 猪行为自动监测技术研究现状与展望

闫丽<sup>1,2</sup>,沈明霞<sup>1</sup>,刘龙申<sup>1</sup>,陆明洲<sup>1</sup>

(1.南京农业大学工学院,江苏南京 210031; 2.黑龙江八一农垦大学信息技术学院,黑龙江大庆 163319)

**摘要:**作为评价动物福利条件最直接的证据,也是动物行为学研究的核心内容,行为是对猪的运动功能、高级中枢神经功能和精神状态的评估,能够全面反映机体的整体状态,通过行为能够了解动物的适应性、生存所需要的条件及情感需求。选取母猪为主要研究对象,归纳分析母猪在发情、分娩、哺乳和疾病各阶段所表现的活动形式、身体姿势、外表上可辨认的变化以及发声等行为特性,并针对这些行为,对目前国内外学者已经使用的包括电子测量、视频、音频等计算机自动监测技术进行综述,进一步提出对现有监测技术的改进建议,以期精准掌握猪的行为习性,创造适于猪生长的饲养环境,从而提高猪的生产性能。

**关键词:**母猪行为;母性行为;异常行为;自动监测;监测技术

**中图分类号:** S126; TP274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0022-04

目前,养殖户利用现代技术测量如通风率、温度、湿度和有害气体等畜舍参数已十分普遍<sup>[1-4]</sup>,但对畜舍中动物行为的监测与识别却仍没有满意的技术。2013 年比利时的 Berckmans 教授首次提出精准动物养殖(Precision Livestock Farming)的概念,即提供连续、实时、自动的监控和观察,使养殖户能够监测和控制动物的健康和福利状态<sup>[5]</sup>。2013 年我国人均消耗猪肉 40.65 kg<sup>[6]</sup>,猪作为人类食物的重要来源,其健康关系着食品安全、人类健康、环境污染和贸易壁垒等一系列问题。猪和人类一样有感知、痛苦、恐惧等情感需求,作为表达感觉的肢体语言,行为表达着猪的喜怒哀乐、各种生理需求及欲望。猪经过不断驯化,常见的行为模式从野猪的二十几种减少到家猪十余种,包括采食、排泄、群居、争斗、性、母

性、活动与睡眠、探究、异常和后效行为等<sup>[7]</sup>。精确了解猪的行为可有效提高猪肉生产的质量,其中对母猪行为的精准监测尤为重要。本研究首先针对母猪各阶段的行为特性进行归纳与分析,针对其行为,对目前国内外已经使用的计算机自动监测识别技术进行综述。目的是能够精准掌握猪的行为习性,创造适于猪习性的饲养环境,提高猪的生产性能,从而获得最佳的经济效益。

## 1 猪的行为分类

对于猪的行为研究源自于行为观察,从文明狩猎阶段起,人们通过观察野猪的活动规律来提高获取猎获的概率;随着野猪家养,人们开始有目的地观察和掌握猪的生活周期和行为规律。猪的行为由活动形式、发声和身体姿势,以及外表上可辨认的变化组成。作为最主要的生产力,母猪担负繁育仔猪的职能,母猪的行为及健康受到养殖户和行为专家的重视,其中针对母猪的发情行为、分娩行为、母性行为开展了一系列研究,监测方法也由最初的人工观察,向智能的电子测量、视频监测和声音监测发展。

收稿日期:2015-02-12

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(编号:201003011);黑龙江省青年科学基金(编号:QC2014C078)。

作者简介:闫丽(1979—),女,吉林梨树人,博士研究生,讲师,主要从事设施养殖方面的研究。E-mail:bynd\_yanli@163.com。

通信作者:沈明霞,教授,博士生导师,主要从事机器视觉和信息农业研究。E-mail:mingxia@njau.edu.cn。

- [51] Akowuah J O, Addo A, Bart-Plange A. Influence of drying temperature and storage duration on fissuring and milling quality of jasmine 85 rice variety [J]. Journal of Science and Technology, 2012, 32 (2): 26-33.
- [52] 张慧明. 稻谷及时干燥特性和品质的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2012.
- [53] Ibrahim M N, Talab K T, Spotar S, et al. Effects of airflow reversal in fixed-bed drying of rough rice on head rice yield and drying performance [J]. Transactions of the ASABE, 2013, 56(4): 1485-1493.
- [54] 邱学岚, 郑先哲. 稻米品质的评价[J]. 农机化研究, 2005(4): 34-36.
- [55] 董瑞婷. 稻谷储藏中水分含量与稻谷品质关系的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2011.

- [56] 孟祥国, 郑先哲, 张强. 稻谷及时干燥工艺对品质影响[J]. 农机化研究, 2014, 36(3): 149-153.
- [57] 阮少兰, 毛广卿. 大米蒸煮品质的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2004(10): 25-26.
- [58] 郑先哲, 赵学笃. 稻米食味值测定及干燥品质的研究[J]. 农业机械学报, 2000, 31(4): 54-56, 60.
- [59] 徐泽敏. 稻谷真空干燥品质控制机理及食味特性的研究[D]. 长春:吉林大学, 2008.
- [60] 隋炯明, 李欣, 严松, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与品质性状相关性研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 657-663.
- [61] 贾良, 丁雪云, 王平荣, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征及其与理化品质性状相关性的研究[J]. 作物学报, 2008, 34(5): 790-794.
- [62] 李刚, 邓其明, 李双成, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与品质性状的相关性[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(1): 99-102.