

稻谷干燥技术及品质评价的研究进展

王永进, 刘坤, 陈雪云, 宋欣翼, 吴志国*, 张莉, 赵璐, 邱玉婷 (天津科技大学, 天津 300457)

摘要 综述了稻谷干燥技术及工艺、稻谷干燥品质研究方面所取得的成果, 并探讨了干燥工艺与稻谷干燥品质之间的关系, 以期对稻谷干燥技术的研究提供参考。

关键词 稻谷; 干燥; 品质

中图分类号 S509 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)31-0100-03

Research Progress on the Rice Drying Technology and Drying Quality

WANG Yong-jin, LIU Kun, CHEN Xue-yun, WU Zhi-guo* et al (Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457)

Abstract This paper summarizes the achievements in rice drying technology, its process and rice drying quality research, and it also discusses the relationship between drying process and rice drying quality with the aim to provide reference for the researchers in future.

Key words Paddy; Drying; Quality

稻谷收获后要及时干燥, 否则会对后续的稻谷生产加工和保藏产生重要影响。根据有关部门估算, 每年有超过500万吨的谷物^[1]由于不能及时干燥而造成巨大损失, 因此, 稻谷及时干燥降水对于大米生产加工具有重要意义。

干燥技术是现代工农业生产中必不可少的一项技术, 干燥效果好坏会直接影响产品的质量、形态等。干燥技术包含了复杂的传质传热机理, 所涉及的学科广泛, 并且与干燥物质的特性息息相关^[2]。当前, 随着生活水平的提高, 人们越来越重视稻米的品质, 从而迫使人们不断改进干燥技术和干燥工艺。稻谷干燥后的品质如何衡量, 标准也有所不同。很多研究者进行了多种评价方式的尝试, 并研究了干燥稻谷品质的影响因素^[3-5]。

笔者对稻谷干燥技术及工艺、稻谷干燥品质研究进展进行了总结和探讨, 以期对稻谷干燥技术的研究提供参考。

1 稻谷干燥技术与工艺

1.1 热风干燥 热风干燥作为稻谷干燥的主要方式, 是采用一定量的热空气经过物料表面并带走水分, 以达到干燥稻谷目的。该技术因易操作、控制等特点, 常用来对谷物进行干燥降水^[6]。

热风干燥工艺类型繁多, 常见工艺有高温快速与低温慢速干燥。随着温度升高, 虽然去水时间变短, 但是其爆腰率上升, 造成出米率变低。而低温慢速干燥, 虽然能维持较好的品质, 但其不足之处是无法及时干燥稻谷, 而导致品质劣化, 造成严重损失。万忠民等^[5]经试验认为, 若在恒温条件下, 采用温度为40℃大风量工艺, 最有利于提高干燥稻谷的品质和经济效益。与恒温干燥相比, 为了缩短干燥时间, 且不影响干燥品质, 王继焕等^[7]建议干燥过程中, 也可以通过调节空气温度来控制干燥过程和干燥效率。江思佳等^[8]对变温干燥工艺进行研究, 随着稻谷水分变化, 相应采取

不同温度, 可明显加快降水速率, 且爆腰率较恒温干燥要低。但是该干燥操作工序较为复杂。

另外, 基于热风干燥技术的研究, 还衍生出分程干燥、流化床干燥、通风联合干燥、顺混流干燥等多种干燥工艺。胡万里等^[9]通过研究快速薄层干燥对稻谷品质影响, 针对高水分稻谷, 提出分段干燥工艺, 又称分程干燥。即在谷物的不同干燥阶段采用不同的热风温度、湿度、风速等参数来分段干燥。流化床干燥可有效地干燥高水分稻谷, 谷物受热均匀, 干燥后品质好, 整精米率高^[10]。但是在我国起步较晚, 研究较少。此外, 对稻谷的顺流干燥工艺、顺混流干燥工艺和混流干燥工艺进行相应的试验研究也有相关报道^[11-13]。目前, 热风干燥在稻谷干燥领域依然为主要方式, 而不同参数对稻谷内在品质影响的相关研究尚且不足, 因此, 仍有必要对其进一步研究和探讨。

1.2 减压干燥 先将所需干燥的湿稻谷放入密闭干燥器, 选择加热装置后在负压下加热, 使稻谷内部水分迅速汽化, 同时用真空泵排出, 从而完成对稻谷的干燥, 称为减压干燥。

该技术的干燥介质可循环使用, 真空干燥对于热敏性谷物有着很好的可控性, 并能保证干燥后的稻谷品质。此外, 当稻谷进行真空干燥时, 可加入低温和缓苏工艺, 以确保干燥后稻谷具有较好的加工与储藏品质^[14-15]。

近年, 受真空干燥设备成本较高、工艺不成熟等因素的限制, 其在大规模稻谷干燥中的应用不多。但是, 真空干燥有着高效、节能、经济价值高的特点, 因而在稻谷干燥领域仍值得进一步研究和探讨。

1.3 太阳能干燥 太阳能干燥又称自然干燥, 是农村地区常见的一种稻谷干燥工艺, 主要是通过太阳的光热和空气的自然风来干燥稻谷。太阳能干燥可分为直接干燥和间接干燥^[16]。其中, 直接干燥是将太阳光直接照射在稻谷上, 稻谷吸热后, 使水分汽化; 间接干燥是利用换热器将光能转换成热能, 再给干燥器提供动力。徐润琪等^[17]进行稻谷自然干燥最佳条件试验表明: 干燥过程中经常搅拌可加快水分蒸发, 且厚层物料较薄层效率高。Meas等^[18]针对不同太阳能干燥模式建立了相关模型, 能够进一步优化太阳能干燥中的

基金项目 天津科技大学大学生实验室创新基金项目(1603A307)。
作者简介 王永进(1995—), 男, 福建泉州人, 本科生, 专业: 食品科学与工。* 通讯作者, 讲师, 博士, 从事化工原理教学工作和化工单元操作应用方向研究。

收稿日期 2017-09-08

各项参数。

目前,虽然太阳能干燥具有成本低、能耗少、无污染等明显优势。但是,太阳能干燥过程也常因人为或天气状况而受到影响,如连续阴雨天、突然暴雨等导致阳光不足,路面混入沙石,影响交通等问题,因而有时候干燥质量难以保证。且因需场地大、干燥时间长,不适合大规模作业和批量干燥稻谷。

1.4 微波干燥 频率 915 和 2 450 MHz 的微波常被用来进行稻谷的干燥^[4]。微波无需中间介质,可直接被稻谷吸收,引起内部分子迅速碰撞、摩擦产热,且整体受热均匀,所形成温度与湿度梯度同向,促进内部水分的蒸出,从而达到干燥的目的^[19]。徐凤英等^[20]基于微波与玻璃化转变研究提出,为了提升稻谷品质,可在干燥后期采用低功率微波加缓苏工艺进行干燥,得到较好的干燥效果。杨慧萍等^[21]经研究发现,采用低温微波干燥,可降低温度波动对稻谷品质产生的影响,而高温微波易破坏稻谷品质,不利于后期的储藏及食用。

采用微波干燥稻谷,效率高、无污染,还可较好地改善稻谷的加工与食用等品质,有助于提高稻谷经济效益。但是王素雅等^[22]经试验得出,微波干燥更易使籼稻产生爆腰,不适合干燥籼稻。所以,对微波干燥技术在适宜干燥的稻谷品种方面以及合理利用方面仍需进一步研究。

1.5 远红外干燥 适宜波长的远红外线照射在粮粒表面、稻谷内部会直接吸收红外辐射,产生热量,使粮粒本身温度升高,加速内部水分扩散与蒸发,完成稻谷干燥。Schroeder 等^[23]的研究发现,用远红外干燥稻谷具有较快的降水速度,在 0.49%/min ~ 3.6%/min。张正勇^[24]经远红外辐射干燥粮食试验后表明,稻谷干燥前,若对所需干燥的粮食先进行外表皮及内在结构的研究,得到两者红外吸收特性差异后,再用波长适宜的远红外线,能使干燥速度更快,粮食品质更佳。虽然远红外干燥是高效、节能的新兴干燥工艺,但是其对稻谷表面水分的去除速度过慢,国内在粮食的干燥领域和工业应用方面尚显不足。

1.6 联合干燥 联合干燥是将数种干燥工艺进行联合作用。因为一种干燥方法有时无法完成所需的干燥效果,且从低碳、低能耗角度而言,结合不同的干燥工艺往往会使干燥效果更优。一般多为 2 种工艺的组合,比如热风与红外,热风与微波联合干燥等。中国农业大学的汪喜波^[25]对红外辐射和热风联合干燥进行试验研究,得到了红外热风组合干燥稻谷的优化参数明显降低了稻谷爆腰率;天津理工学院的焦士龙等^[26]经红外-热风联合模拟实验机得出,用调整好的双循环红外-热风机型既能保证干燥后稻谷的品质,又解决高爆腰问题。但联合干燥工艺干燥速度较慢,有时无法及时干燥稻谷,造成严重损失。为此,有研究者提出可采用干燥-通风联合作业提高干燥效率,并同时保证使整精米率达到 72% 以上^[27]。崔勇经研究^[19]提出,热风和微波干燥工艺,能分别迅速除去稻谷表面和内部水分,因而采取微波-热风联合干燥稻谷,不仅经济可行,而且能达到效率高、品质好的目的。张锁龙等^[28]通过自主设计超声波联合热风干燥装

置,研究超声波-热风联合技术对稻谷的影响,得出该技术是一种可行、有效的干燥方法。联合干燥较单一的干燥工艺,既能保证干燥后稻谷质量,又能快速除去表面水分,因此,是目前也是今后干燥技术工艺中会经常采用的方式,是未来发展的趋势。

2 稻谷干燥品质及指标

稻谷干燥品质有诸多标准或参数来反映。该研究将稻谷品质的指标体系主要分为外观品质、食味品质和营养品质等方面。对于品质指标还有其他提法,如加工品质与储藏品质等。

2.1 外观品质 稻谷作为重要的粮食商品,首先,其外观品质是一项重要的指标,主要有反映色泽的垩白度、垩白粒率,以及反映粒形完整性的衡量标准或参数爆腰率、出糙率及整精米率等。

2.1.1 爆腰率。稻谷爆腰率是评价干燥后稻谷品质好坏及干燥工艺是否经济可行的一项关键指标,是外观品质的最主要影响因素。爆腰,即谷粒表面产生不同严重程度的裂纹,从而产生碎裂导致稻米质量产量下降的现象。对其产生机理,有学者从玻璃化转变理论解释,稻谷内部存有温度梯度与水分梯度,会产生相应的热应力与湿应力,两者被统称为干燥应力。相关研究表明,干燥应力过大是导致稻谷爆腰的主要因素^[29]。

目前,我国干燥标准规定,干燥机的爆腰率需降到 3% 以下,以保证粮食品质能符合相应要求。如何降低爆腰率,已经有很多科研工作者做了尝试。夏宝林等^[30]通过试验研究表明,增加适当的缓苏工艺能够有效抑制爆腰产生,提高稻谷品质。刘启觉^[31]在干燥过程增加缓苏时间,试验得出,对于低水分谷物,采用低温慢速干燥,较高温与恒温干燥,更有利于减少爆腰率。刘冬梅等^[32]在检测稻谷干燥爆腰的试验中得出,将干燥温度控制在 45 °C 左右,降水速度在 5% 以内,不仅稻谷不易爆腰,其品质还可得到提升。

综合各项试验表明,高温快速干燥以及高湿条件下的吸湿作用是造成稻谷爆腰的关键因素。因此,在干燥过程中应避免高湿环境,同时把温度控制在玻璃化转变温度之下,以防止稻谷裂纹的形成,破坏外观品质。

2.1.2 出糙率。稻谷经垩谷去掉颖壳,得到颖果(糙米),颖果的完整粒重量和不完整粒重量的 1/2 与试样总重量的比值,称为出糙率。我国稻谷标定等级时受加工品质的影响较大,而出糙率又作为反映加工品质的关键指标。在一定范围内,谷物出糙率与干燥温度呈负相关,即当温度增加时,会相应减少出糙率。

从张玉荣等^[29]的热风、真空干燥等试验可知,一定范围内,相同温度下,高水分谷物经不同技术干燥,其出糙率高低表现为自然干燥 > 真空干燥 > 热风干燥。若继续增加干燥的温度,在 90 °C 时,其出糙率将因干燥速度快,反而有微小的增加。

2.1.3 整精米率。稻谷垩谷脱壳后的颖果,再经加工处理,长度还保持在完整糙米平均长度的 3/4 以上的谷物称为整

精米,而整精米与稻谷试样质量的比值,称为整精米率,既作为国家粮食标准指标之一,又作为评价稻谷加工品质的重要指标。稻谷的种类和干燥介质是对整精米率造成影响的两大主要因素^[33]。相关研究表明,在稻谷加工过程中,籼稻由于籽粒细而长,耐压性差,较粳稻更易产生碎米,造成整精米率低、碎米率高^[34]。陈江等^[14]试验证实,当采用真空变温干燥时,温度先高后低的整精米率要远大于先低温后高温的整精米率。

2.1.4 垩白粒率。垩白为稻谷胚乳中白色不透明的面积占米粒投影面积,为稻米外观品质的重要指标之一。垩白粒率是指米粒中有垩白米粒的比率。垩白粒率小会造成研磨时易碎,有损谷物的外观、蒸煮等品质,而且不同干燥工艺和条件对垩白粒率的影响也不同^[35]。

除以上几项主要指标之外,稻谷外观品质还包括粒型、精米率、碎米率、容积重和千粒重等多项评价指标。

2.2 食味品质 食味品质也称感官品质,是最直接甚至是最重要的品质评价指标,食味品质差异是以气味、适口性和滋味三者的差异为主^[36],可以选择硬度、黏着性以及咀嚼性等指标来综合反映。我国制定了相应标准,《粮食检验稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》(GB/T15682)中给出稻谷、大米的蒸煮试验及米饭食用品质评定方法。

对于食味品质的影响因素有很多学者也做了相关研究。有学者通过对大米的质构特性和食味值的试验结果分析得到,经及时干燥处理的稻谷,其食味值要大于堆放(延时)干燥处理的稻谷的食味值,且大米硬度也高于延时(堆放)干燥工艺处理过的大米^[36]。王素雅等^[22]研究表明,微波干燥较热风 and 自然干燥更易降低籼稻的食味值,因而不适合对籼稻进行微波干燥。

万忠民等^[37]研究表明,应用流化床及薄层热风干燥稻谷时,一旦高温持续过久,则稻谷内部的直链淀粉量将显著增加,导致硬度大、适口性差,最终的蒸煮食味品质下降。通过对比不同干燥温度对稻谷食味品质的影响研究,低温干燥的食味值要高于高温干燥,即低温有利于提高大米的食味品质^[36]。若对适口性要求高,可采用低温微波干燥,使可溶性直链淀粉含量较高,米饭口感好^[21]。

2.3 营养品质 稻谷的营养品质主要有直链淀粉含量、蛋白质含量与脂肪酸值,以及维生素、矿物质等。稻谷营养品质过去常被忽略,但近年来随着人民生活水平的不断提高,谷物的营养品质也越来越受到关注和重视。能反映营养品质的指标主要有水溶蛋白和直链淀粉含量^[38-39],另外,发芽率、脂肪酸值、碘蓝值、胶凝值也可作为营养品质的指标参数。

杨慧萍等^[21]研究证实,高温会阻止淀粉粒吸水、膨胀和糊化,使可溶性蛋白含量下降,降低食味品质,但在低温时基本不变。高温会减少支链淀粉,增加直链淀粉^[37],使得稻谷营养品质受损。因此,干燥过程中应尽量避免高温时间过长。采用间歇干燥,通过增加干燥段数,会提高发芽率,增加脂肪酸值。但是,当温度过高时,发芽率偏低,脂肪酸值也开

始呈下降趋势^[40]。

2.4 品质指标间的相互关系 稻谷品质要由以上提到的3项品质的综合效果来评价,因此搞清楚它们之间的相关性有利于准确快速地判断出稻谷品质的优劣,对稻谷品质改良也有重要的理论和实践意义^[41]。品质指标间有可能是正相关,也有可能是负相关。比如外观品质的2个重要指标爆腰率与整精米率就呈正相关,指标会直接影响到产物的产量和经济效益^[42];刘兵等^[43]经过对稻谷干燥后各品质相关性分析得出,稻谷整精米率与硬度、胶黏性、胶着性呈极显著负相关性;马畅等^[44]通过对东北粳稻食味特性相关影响因素的试验表明,粳稻的食味品质与食味值和谷蛋白含量密切相关。虽然谷蛋白具有较高的营养价值,但是,当谷物的蛋白质过多,会影响淀粉的吸水糊化和膨胀,降低适口性,影响蒸煮品质。各品质指标间所具有的相互关系充分说明今后关于稻谷干燥品质指标间关系的研究有利于更好地对品质的定性定量的判断,也能为干燥技术工艺改进提供依据。

2.5 干燥技术工艺与品质指标间的相关性 不同的干燥技术工艺对不同的稻谷品质指标参数也会产生影响。相关研究表明,经微波干燥的稻谷,在贮藏时,脂肪酸总量的积累速度要明显慢于热风干燥^[45],且功率越大,贮藏后脂肪酸值越低,因而,该技术更有利于稻谷的长期贮藏。又比如真空干燥可显著降低稻谷爆腰和膨胀,适合热敏性(对热敏感、受热易分解)物料的干燥工艺。但是,在较高的真空度(大于0.06 MPa)或温度下,稻谷脂肪酸值会逐渐增加,最终影响稻谷品质的优劣和耐储性^[46]。

此外,还有大量研究证实,采用不同的干燥技术和干燥参数会对稻谷的综合品质造成极大的影响。如干燥参数的改变,恒温 and 变温、高温低温以及缓苏时间的设置,都会使谷物的爆腰率、出糙率、糊化特性、直链淀粉含量、脂肪酸值等品质指标发生明显变化。但是在我国,干燥技术工艺和品质指标间的相关性研究不足,仍需进一步深入研究和探讨。

3 展望

综上所述,目前主要是考虑到成本和技术问题,在大规模谷物干燥中,热风干燥依然是最常使用的干燥方法。而今后基于粮食干燥能耗大、品质保持协同调控的两大难题,开发新的稻谷干燥技术,研究影响干燥品质的相关因素、热质传递和玻璃化转变调控的机理、稻谷干燥过程中的变温缓苏过程控制规律,寻找能够更加客观全面反映稻谷品质的参数指标,建立传热传质模型,明确变温干燥条件及缓苏调控参数与干燥机理间的量化关系,积累干燥过程参数与品质参数间协同关系数据,研创联合干燥工艺技术,实现稻谷干燥技术的节能、环保、稳定、高效的目标,将是未来稻谷干燥技术发展的方向。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 朱文学. 食品干燥原理与技术[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [3] 高广春. 热泵干燥的理论与实验研究[D]. 杭州:浙江大学,1999.
- [4] 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.

生产性能,而且与发育情况、健康状况、种用价值和经济类型等均有密切关系。认识体型外貌对选择特定生产性能具有极大的指导意义^[5]。吴照民等^[6]对四川平武黄牛进行研究,筛选的第一主成分为胸部因子。叶昌辉^[7]对雷州黄牛体尺性状进行主成分分析,筛选出的第一主成分为高度因子,第二主成分为匀称因子。王永奇等^[8]对大额牛体尺与体重进行研究,筛选出的第一主成分反映出大额牛整个体型生长发育状况。该研究分析新疆肉牛体重与体尺性状之间的密切程度、消长关系和各指标分量,第一主成分贡献率最大,基本反映了新疆肉牛外貌整体结构信息,第二主成分特征值贡献率较小,该主成分为胸宽因子,结果与王永奇等^[8]对大额牛生物学特征和利用开发潜力研究结果一致。

4 结论

通过对新疆肉牛体重和 12 个体尺性状进行主成分分析,明确新疆肉牛体型特征、体重与体尺指标的关系,为今后

进一步新疆肉用牛的选种、选育工作提供基础资料。

参考文献

- [1] 孙浩,张杨. 新疆肉用牛生产关键技术[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2006.
- [2] 王炳臣,骆志安,马德福. 肉用杂种牛体尺与其产肉性能关系分析[J]. 黑龙江畜牧科技,1981,2(1):7-9.
- [3] 蔺宏凯,张杨,周振勇,等. 新疆褐牛体尺性状指标与体重的主成分分析[J]. 中国畜牧兽医,2010,37(8):130-133.
- [4] 张爱玲,张丽娟,耿社民,等. 秦川母牛不同年龄阶段体尺和体重的主成分分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(2):29-32.
- [5] 张杨,周振勇,张金山. 新疆褐牛培育技术[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2011.
- [6] 吴照民,苟兴能,何健,等. 平武黄牛体尺性状的主成分分析[J]. 四川畜牧兽医,2000,27(8):21-22.
- [7] 叶昌辉. 雷州黄牛体尺性状的主成分分析[J]. 广西农业生物科学,2001,20(3):193-195.
- [8] 王永奇,苟潇,刘文华,等. 大额牛体尺性状指标与体重的主成分分析[J]. 江西农业大学学报,2009,31(4):589-593.
- [5] 万忠民,杨国峰. 不同干燥条件对稻谷的降水和品质的影响[J]. 粮食储藏,2008,37(5):46-50.
- [6] 叶为标. 谷物干燥方法的研究[J]. 粮食加工,2009,34(1):69-72.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 胡万里,李长友,徐凤英. 稻谷薄层快速干燥工艺的试验[J]. 农业机械学报,2007,38(4):103-106.
- [10] ATTHAJARIYAKUL S, LEEPHAKPREEDA T. Fluidized bed paddy drying in optimal conditions via adaptive fuzzy logic control[J]. Journal of food engineering,2006,75(1):104-114.
- [11] 董铁有,吉崎繁. 水稻顺流干燥中爆腰问题的试验分析[J]. 洛阳工学院学报,1996(3):49-53.
- [12] 王桂湘. 水稻顺流干燥工艺的研究[J]. 农业工程学报,2000,16(2):109-112.
- [13] 谢奇珍,刘进,师建芳,等. 水稻混流干燥工艺的试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(3):129-132.
- [14] 陈江,杨国峰,仇红娟,等. 低真空度变温干燥对稻谷干燥品质的影响研究[J]. 粮食储藏,2015,44(4):37-42.
- [15] KALANTARI D, ESHTAVAD R. Influence of different tempering period and vacuum conditions on the rice grain breakage in a thin layer dryer[J]. Cercetari agronomice in moldova,2013,46(4):5-12.
- [16] 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.
- [17] 徐润琪,刘建伟. 稻谷自然干燥最佳条件的探讨(I):从热能利用效率分析干燥条件对稻谷的影响[J]. 粮食储藏,2003,32(4):19-22.
- [18] MEAS P, PATERSON A H J, CLELAND D J, et al. A mathematical model of solar drying of rice[J]. International journal of food engineering,2012,8(3):1-37.
- [19] 崔勇. 粮食微波干燥技术的研究浅探[J]. 南方农机,2008(5):36-38.
- [20] 徐凤英,陈震,李长友,等. 稻谷热风、微波干燥品质与玻璃化转变研究[J]. 农业机械学报,2015,46(2):187-192.
- [21] 杨慧萍,蔡雪梅,陈琴. 两种温度两种干燥方式对稻谷品质的影响[J]. 粮食储藏,2013,42(1):34-38.
- [22] 王素雅,杨晓亚,胡丹丹,等. 微波干燥与鼓风干燥对稻谷品质的影响[J]. 中国粮油学报,2014,29(10):83-87.
- [23] SCHROEDER H W, ROSBERG D W. Effect of Infrared Intensity on the Drying of Rexoro Rough Rice[M]. Texas: Texas Agricultural Experiment Station,1962
- [24] 张正勇. 谷物红外辐射干燥机理与基础参数研究[D]. 洛阳:洛阳工学院,2002.
- [25] 汪喜波. 红外辐射与对流联合干燥的理论分析及试验研究[D]. 北京:中国农业大学,2003.
- [26] 焦士龙,褚治德,江菊元,等. 红外辐射与热风振动流化稻谷干燥实验研究[J]. 上海理工大学学报,2001,23(3):271-273.
- [27] 杨国峰,周雯, AMBROSE R P K, 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.
- [28] 张锁龙,高涛,赵玉杰,等. 稻谷在超声波和热风联合作用下的干燥工艺研究[J]. 食品科技,2016(5):158-162.
- [29] 张玉荣,刘浩阳,周显青. 稻谷热风与真空干燥特性及其加工品质的对比研究[J]. 粮食与饲料工业,2012,12(4):5-9.
- [30] 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.
- [31] 刘启觉. 高水分稻谷干燥工艺试验研究[J]. 农业工程学报,2005,21(2):135-139.
- [32] 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.
- [33] 邱学岚. 干燥后稻米品质分析[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2005.
- [34] 罗玉坤,朱智伟,陈能,等. 中国主要稻米的粒型及其品质特性[J]. 中国水稻科学,2004,18(2):135-139.
- [35] CHENG F M, ZHONG L J, WANG F, et al. Differences in cooking and eating properties between chalky and translucent parts in rice grains[J]. Food chemistry,2005,90(1/2):39-46.
- [36] 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.
- [37] 万忠民,马佳佳,鞠兴荣,等. 流化床和薄层热风干燥对稻谷品质的影响[J]. 食品科学,2014,35(6):6-11.
- [38] 张巧杰,王一鸣,凌云,等. 稻谷品质检测技术与装置研制[J]. 现代科学仪器,2006(1):128-130.
- [39] 唐月明. 稻谷品种和品质的光谱快速无损检测研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- [40] 杨国峰,夏宝林, KINGSLEY A R P, 等. 间歇干燥及缓苏对高水分稻谷干燥品质的影响[J]. 中国粮油学报,2015,30(1):102-106.
- [41] 徐正进,陈温福,马殿荣,等. 辽宁水稻食味值及其与品质性状的关系[J]. 作物学报,2005,31(8):1092-1094.
- [42] 张玉荣,刘浩阳,周显青. 干燥技术对稻谷品质影响的研究进展[J]. 粮油食品科技,2012,20(3):1-5.
- [43] 刘兵,仇红娟,刘强,等. 真空干燥-常压缓苏后稻米品质指标的相关性研究[J]. 食品工业科技,2016,37(1):121-126.
- [44] 马杨,王术,张秀茹,等. 东北粳稻食味特性相关影响因素分析[J]. 沈阳农业大学学报,2016,47(4):467-473.
- [45] 朱德文,刘敏. 微波干燥稻谷的试验研究[J]. 包装与食品机械,2003,21(5):8-10.
- [46] 仇红娟,杨国峰,陈江,等. 相对真空度和干燥温度对稻谷间歇干燥品质的影响[J]. 粮食储藏,2014,43(4):31-35.

(上接第 102 页)