

浸泡与米水比例对预烹调小米微波对流 恒温干燥特性与品质的影响

Influence of soaking and millet/water ratio on microwave-convective drying characteristics and quality of cooked millet under the constant temperature

王应强¹ 温建华² 刘爱青³

WANG Ying-qiang¹ WEN Jian-hua² LIU Ai-qing³

赵红霞¹ 杨文仙¹ 杨 丰¹

ZHAO Hong-xia¹ YANG Wen-Xian¹ YANG Feng¹

(1. 陇东学院, 甘肃 庆阳 745000; 2. 南京澳润微波科技有限公司, 江苏 南京 210041;

3. 北京盛美诺生物技术有限公司, 北京 212013)

(1. Longdong University, Qingyang, Gansu 745000, China; 2. Nanjing Orient Microwave Technology Co., Ltd, Nanjing, Jiangsu 210041, China; 3. Beijing Semnl Biotechnology Co., Ltd, Beijing 212013, China)

摘要:以微波对流恒温组合干燥技术干燥预烹调小米,考察高压汽蒸前米水比例与浸泡对方便小米微波对流恒温干燥动力学及产品品质的影响。结果表明,整个干燥过程受扩散控制,以两阶段降速干燥为特征,基于经验的 Henderson and Pabis 模型可以预测小米干燥过程的水分含量($R^2 > 0.9714$),菲克扩散定律计算得到的有效水分扩散系数在 $3.30 \times 10^{-7} \sim 5.03 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$;以米水比 1.5:1 (g/mL) 常温浸泡 3 h 后,获得的方便小米产品具有最高的感官评分,其特征色值 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 、 h° 分别为 45.75、7.56、38.93、38.19、78.84°,总色差为 31.64,复水比最大(2.48),复水时间 4.2 min。

关键词:小米方便食品;微波对流恒温干燥;特性;品质

Abstract: In this study, the cooked millet was dried using microwave-convective drying under the constant temperature and the effect of soaking and millet/water ratio before pressure cooking millet on the drying kinetics and quality of dried millet were investigated. The results showed that the whole drying process was controlled by diffusion and characterized by two stage falling rate drying. The moisture content during millet drying was predicted by the expe-

rienced Henderson and Pabis model ($R^2 > 0.9714$) and the effective moisture diffusivity calculated by Fick's law of diffusion was in the range of $3.30 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ to $5.03 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. The best sensory quality was obtained when the ratio of millet to water was 1.5:1 (g/mL) and the millet was dipped for 3 h, in which the value of L^* , a^* , b^* , C^* , h° and ΔE was 45.75, 7.56, 38.93, 38.19, 78.84° and 31.64 respectively. Under this condition, the rehydration ratio of millet was the highest(2.48), and it could be rehydrated in 4.2 min.

Keywords: millet instant food; microwave-convective drying under the constant temperature; characteristic; quality

中国是小米的主产区,年产 $3.0 \times 10^5 \text{ t}$ 占全世界产量的 80%;小米因其丰富的营养价值受到广大消费者的青睐,已经成为调剂精米精面食品的主要粮食品种之一^[1-2]。目前中国商品化的小米主食性制品主要以挤压膨化型小米营养粉为主,存在深加工程度低、加工产品种类单一、不符合大众对小米食品的消费习惯等诸多问题,因此开发符合中国传统饮食习惯的高品质小米等杂粮类方便食品前景广阔^[2-3]。

方便小米属于非多孔型脱水糊化米,有较好的复水性,复水后外观和口感几乎与新煮米无区别,浸泡条件、熟制和干燥是脱水方便小米生产的关键工艺^[4-5]。目前对方便小米的研究多集中在生产速食小米粥上,但煮粥过程中有大量的营养会损失,干燥产品的色泽寡淡,复水产品的口感较差及黏稠度不足等问题^[1,6]。就小米干燥方法而言,主要有热风干燥、分段式微波(真空)干燥、真空冷冻干燥等,单一的干

基金项目:陇原青年创新人才扶持计划项目(编号:2014-39);陇东学院博士科研启动基金(编号:2014XYBY11);陇东学院大学生创新创业训练计划项目(编号:2015-1-29)

作者简介:王应强(1979—),男,陇东学院副教授,博士。

E-mail: sxxds2008@163.com

收稿日期:2017-04-19

燥方法存在干燥时间长、易烧焦、能耗大等缺点^[7-8]。

微波恒温对流干燥是一种基于温度反馈调节微波功率模式的新型食品干燥技术,结合微波快速加热与热风对流干燥除湿量大的优点,能克服食品常规干燥方法存在的一些不足^[9-10]。莫愁等^[11]开发了一套微波干燥恒温控制系统用于干燥新鲜未脱壳花生,该系统可对干燥室内部温度和被干燥物质量进行实时动态监控,并自动控制微波干燥过程的温度,使用该系统干燥的花生子叶外观正常,无花生油溢出,品质明显优于无恒温控制的样品;徐晚秀等^[12]采用光纤插入物料中心在线控制微波干燥的物料温度,可以更快速地干燥铁棍山药片,同时干燥后的样品多糖得率比较高。

本研究采用高压汽蒸熟制并通过自主设计制造的微波对流恒温干燥机来干燥方便小米,考察了浸泡及米水比例对方便小米微波对流恒温组合干燥特性、产品色差、复水特性与感官品质的影响,以期为高品质方便小米(小杂粮)产品的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

商品化小米:购于甘肃省庆阳市西峰区百佳超市。

1.1.2 主要仪器设备

- 智能微波热风联合干燥器:ORW1.0S-3000R型,南京澳润微波科技有限公司;
- 电子天平:HX501T型,慈溪市天东衡器厂;
- 鼓风干燥箱:101型,北京科伟永兴仪器有限公司;
- 色差仪:WF-30型,深圳市威福光电科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 小米干燥前处理 将原料进行清洗,去除小米表面黏附的粉末杂质和灰尘。选用5组米水比例 $[1:2,1:1.5,1:1,1.5:1,2:1\text{ (g/mL)}]$ 进行试验。每组米水比例又分为浸泡组和未浸泡组,浸泡时添加的水量与未浸泡组的小米蒸制时添加所用水量相同,小米在常温浸泡3 h,处理好的小米放入高压锅(121℃,0.12 MPa)蒸制45 min,使淀粉逐渐完成糊化过程,冷却离散后干燥。

1.2.2 微波热风联合干燥 图1为微波热风联合干燥器的示意图,主要由干燥室(50 cm×50 cm×50 cm)、电加热箱风机(220 W,600 m³/h)、PVC载物盘和控制与测量单元等部分组成。风机安装在箱体外部的左侧,其将室温的空气送入加热箱后加热到预定温度经过通风网孔均匀地分布,并且自左而右通过载物盘,与被干燥物料进行热质交换后,从箱体右侧排出;在箱体内的正上方按有微波发生器和红外与光纤测温装置,可通过测温装置来控制微波功率的大小,为方便光纤测温,载物盘可正反360°旋转;箱体内的风速可以通过风速控制阀门在0~2.5 m/s调节。

干燥前,先打开风机与电加热箱,使干燥室在空载的情况下预热到设定的温度,本试验所用的热风进口温度与物料的设定温度均为80℃,微波功率125 W,物料装载量200 g,

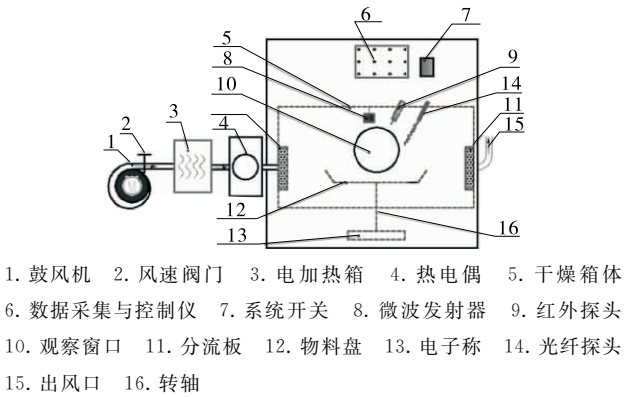


图1 微波对流联合干燥器示意图
Figure 1 Schematic diagram of microwave-convective dryer

物料厚度5 mm,小米脱水至10%以下,干燥停止。

1.2.3 测定指标

(1) 水分含量:物料的初始水分含量按照 AOAC 的方法执行,在105℃干燥样品至恒重,重复测定3次,以干基含水量表示。

(2) 色值的测定:采用威福WF-30型色差计测定小米样品的表面色泽,读数以CIE1976色度空间值 L^* (亮→暗:100→0), a^* (绿→红), b^* (兰→黄)表示,重复测量5次。色差(ΔE)、色彩角(h°)和彩度(C^*)根据测定值按式(1)~(3)计算:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

$$h^\circ = \arctg(b^*/a^*)(a^* > 0, b^* > 0), \quad (2)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}, \quad (3)$$

式中:

ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* ——浸泡前小米和干燥小米之间明度 L^* 和色度指数 a^* 和 b^* 的差值;

h° ——色调,0°,90°,180°,270°分别代表酱红色调、黄色调、蓝绿色调和蓝色调。

(3) 复水比的测定:准确称量方便小米成品米粒A(g)置于烧杯中,加5倍沸水立即加盖,复水5 min后立即沥干,并用吸水纸吸干表面水分,称重B(g),复水比用B/A表示^[6]。

(4) 复水时间的测定:将一定量的小米成品米粒置于100℃开水中加盖,复水时间为米粒完全复水(米粒中心完全软化)所用的时间^[8]。

(5) 小米蒸制后感官质量评价:主要根据小米的色泽、气味、外观结构、滋味及适口性进行综合评分,感官评定标准见表1。样品随机由10位感官评定员进行综合评审,结果取平均值。

(6) 小米干燥后感官质量评价:主要根据小米的色泽、气味、外观结构、触感进行综合评分^[4],感官评定标准见表2。样品随机由10位感官评定员进行综合评审,结果取平均分。

1.2.4 数据处理

(1) 干燥速率与水分比的计算:干燥过程中的水分含量通过测量物料干燥过程中的质量变化来计算,自动记录一定

表 1 高压蒸制后小米感官评定标准

Table 1 Standard of sensory evaluation of cooked millet

色泽(15 分)	气味(15 分)	外观(20 分)	滋味(25 分)	口感(25 分)
米色黄亮,色泽好(11~15 分)	有浓 郁 的 小 米 香 味 (11~15 分)	米粒完整、饱满,冷却后无黏块(15~20 分)	醇厚持久(17~25 分)	黏性弹性好,口感柔韧性较好(17~25 分)
米色淡黄或暗黄,光泽不足(6~10 分)	有小米香味,无异味(6~10 分)	米粒形态较完整,稍不饱满,冷却后有少量黏块(8~14 分)	一般(8~16 分)	黏性弹性一般,口感较硬或软烂(8~16 分)
有异色或颜色过暗或过白(0~5 分)	无小米香味或有明显异味(0~5 分)	形态不完整、不饱满,冷却后黏块较多,有焦粒(0~7 分)	较差(0~7 分)	黏性弹性差,有夹生(0~7 分)

表 2 干燥后小米感官评定标准

Table 2 Standard of sensory evaluation of dried millet

色泽(20 分)	气味(20 分)	外观(30 分)	触感(30 分)
米色黄亮,有光泽(15~20 分)	有淡爽的小米香味(15~20 分)	米粒完整、饱满、无黏块、无焦粒(21~30 分)	松散度好、柔滑、不黏手,触感较好(21~30 分)
米色较浅或较暗,光泽不足(8~14 分)	无小米香味,无异味(8~14 分)	米粒较完整、较饱满,有少量黏块或有少量焦块(11~20 分)	松散度较好,稍黏手,不柔滑,触感一般(11~20 分)
有异色,颜色过暗或过白(0~7 分)	无小米香味,有明显异味(0~7 分)	米粒不完整,不饱满,有大量黏块,有焦粒(0~10 分)	松散度较差,黏手,触感差(0~10 分)

时间间隔物料质量,某一时刻的水分含量根据式(4)计算:

$$M=\frac{W(1+M_0)}{W_0}-1,$$

(4)

式中:
 W_0 、 W ——分别为干燥物料的初始装载量和 t 时刻的质量,kg;

M_0 、 M ——分别为干燥物料初始水分含量和在 t 时刻的水分含量,kg/kg DB。

干燥速率为单位时间内水分含量的变化量,按式(5)计算:

$$Dr=\frac{M-M_{\Delta t}}{\Delta t},$$

(5)

式中:
 Dr ——干燥速率,kg/(kg DB·min);
 M 、 $M_{\Delta t}$ ——分别为干燥物料在 t 和 $t+\Delta t$ 时刻的水分含量,kg/kg DB;

Δt ——取样间隔时间,min。

水分比按式(6)计算:

$$MR=\frac{M-M_e}{M_0-M_e},$$

(6)

式中:
 MR ——无量纲水分比;
 M_e ——平衡水分含量,kg/kg DB。

(2) 干燥曲线的拟合:水分比(MR)随干燥时间的变化用 Henderson and Pabis 干燥模型 $MR=a\exp(-kt)$ 进行拟合^[13],以预测干燥过程的水分含量。

(3) 有效水分扩散系数的计算:菲克扩散第二定律可定量描述生物材料干燥过程中的水分迁移规律^[12-13],其表达式见式(7)。

$$\frac{\partial M}{\partial t}=D_{eff}\frac{\partial^2 M}{\partial x^2},$$

(7)

式中:
 D_{eff} ——有效水分扩散系数,m²/s;
 x ——扩散距离,m。

对于薄层状生物材料的干燥,分析级数解见式(8)。

$$MR=\frac{M-M_e}{M_0-M_e}=\frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\times\exp\left[-\frac{(2n+1)^2\pi^2\times D_{eff}}{4L^2}\times t\right],$$

(8)

式中:
 L ——物料厚度,m。

对于长时间的干燥过程,菲克扩散定律分析级数解的一阶级数解可以用来计算食品物料的干燥水分扩散系数,见式(9)。

$$MR=\frac{M-M_e}{M_0-M_e}\approx\frac{M}{M_0}=\frac{8}{\pi^2}\exp(\frac{\pi^2\times D_{eff}}{4L^2}\times t)。$$

(9)

对式(6)两边取自然对数得 $\ln MR$ 与 D_{eff} 呈直线关系方程,见式(10),回归分析依据该方程的斜率可计算 D_{eff} 。

$$\ln MR=\ln(\frac{8}{\pi^2})-\frac{\pi^2\times D_{eff}}{4L^2}\times t。$$

(10)

干燥曲线的拟合与模型有效性分析使用 OriginPro.v 8.0.SR5 软件进行,用 SPSS 15.0.1 进行统计学分析,结果表示为 $\bar{x}\pm SD$,均值之间的显著性采用 Duncan's Multiple

Range test,当 $P<0.05$ 时认为平均值之间存在统计学上的显著差异。

2 结果与分析

2.1 浸泡条件对小米干燥特性的影响

浸泡条件对高压烹调小米水分含量有显著影响,随着米水比例由 1:2 (g/mL)变化到 2:1 (g/mL),高压烹调小米的水分含量从 2.92 kg/kg 降低到 0.95 kg/kg,而且烹调前浸泡的小米水分含量要略高于未浸泡的,原因是浸泡的小米中蛋白质与淀粉分子能够充分溶胀吸收更多的水分。由图 2 可知,米水比例越大,干燥时间越短,主要由于干燥初始水分含量不同。在浸泡组中,米水比例为 1:2,1:1.5,1:1,1.5:1,2:1 (g/mL)的烹调小米干燥到水分含量为 10%所用的时间大约由 90 min 减少到 40 min。而同样米水比例的浸泡与未浸泡样品,未浸泡组的在干燥过程的中后期任意时刻的水分含量都高于浸泡组的,即未浸泡的小米样品干燥所需时间要略长于浸泡组的。原因主要是浸泡组的小米中蛋白质与淀粉分子充分吸水在高压烹调过程中更易形成有利于水分扩散的通道。

干燥速率取决于物料水分含量与干燥进程,是与干燥机理有关的一个重要参数。由图 3 可知,米水比例越小,小米

的水分含量越高,其干燥速率越大,而且浸泡组的干燥速率要略大于未浸泡组的,在所有的处理中未发现恒速干燥段,所有的小米样品都呈现出类似的两阶段的降速干燥过程,推测生物材料的干燥主要由扩散所控制^[14]。

2.2 模型拟合与有效水分扩散系

小米干燥过程中的水分比(MR)随干燥时间(t)的变化用 Henderson and Pabis 模型进行非线性拟合,模型常数(a 和 k)与误差分析参数(决定系数 R^2 和卡方 χ^2)见表 3,所有处理的决定系数都接近于 1($R^2>0.971\ 4$),且卡方值都较小($\chi^2<0.003\ 0$),表明该模型能有效预测小米干燥过程中水分含量的变化。其中模型中的 k 值为干燥常数,表明干燥水分脱除的难易程度,在一定米水比的情况下,浸泡组的 k 值要大于未浸泡组的,而且随着米水比的增大而显著增大。

由表 3 可知,浸泡条件对水分扩散系数有显著影响,随着米水比例由 1:2 (g/mL)变化到 2:1 (g/mL)水分扩散系数由 $3.30\times10^{-7}\text{ m}^2/\text{s}$ 增加至 $5.03\times10^{-7}\text{ m}^2/\text{s}$,当米水比一定时,浸泡组的水分扩散系数要大于未浸泡组的。张黎骅等^[14]报道高山野山药微波间歇干燥的水分有效扩散系数受微波功率、切片厚度、间歇时间的影响,且在 $2.54\times10^{-8}\sim4.83\times10^{-7}\text{ m}^2/\text{s}$ 。

2.3 浸泡条件对预烹调微波对流恒温干燥小米色值的影响

由表 4 可知,与未处理小米相比,干燥操作引起了小米的 L^* 、 a^* 、 b^* 值的显著降低, ΔE 在 46.84~25.11,表明干燥后小米亮度降低,并由红黄色向蓝绿色转变,变小的 C^* 值代表干燥产品的饱和度(彩度)减弱,干燥并未引起色彩角数值的显著变化,偏向 90° 的色彩角表明所有样品都呈现出黄色调。浸泡条件对 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 和 ΔE 有显著影响,随着米水比例由 1:2 (g/mL)变化到 2:1 (g/mL)时, L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 值均增大, ΔE 减小,表明随着浸泡水量的减少,样品色泽的变化程度也变小,更接近于新鲜小米的色泽。当米水比一定时,浸泡组的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 要小于未浸泡组,而 ΔE 值要大于浸泡组的,表明浸泡组的样品色泽的变化程度更大。食品物料色泽的变化通常与蛋白质、淀粉分子结构的变化、特定的反应(脂肪氧化、Maillard 反应、焦糖化反应)、色素浓度和水分含量等密切相关^[15]。

2.4 浸泡条件对预烹调干燥小米复水性的影响

多数脱水产品在食用前需要复水,快速而完全的复水是其期望的质量属性;复水也是由干燥引起对物料结构破坏的一种测量。由图 4 可知,随着米水比例由 1:2 (g/mL)变化到 2:1 (g/mL)干燥小米的复水时间由 4.2 min 增加到 7.6 min;当米水比一定时,浸泡组的复水时间要小于未浸泡组的,尤其在米水比为 2:1 (g/mL)时,浸泡处理对复水时间的影响十分显著,主要是浸泡组处理中烹调加水量较少,导致小米未完全熟化从而导致复水时间的延长。

浸泡条件对微波对流恒温干燥小米的复水比有显著影响,总体而言,复水比随着米水比例增大呈现先增加后减小的趋势。在米水比例为 2:1 (g/mL)时,浸泡处理对复水比的影响十分显著。王立东等^[8]优化得到的微波热风复合干燥制备速食小米方便粥的复水比为 2.88,复水时间为 7 min;

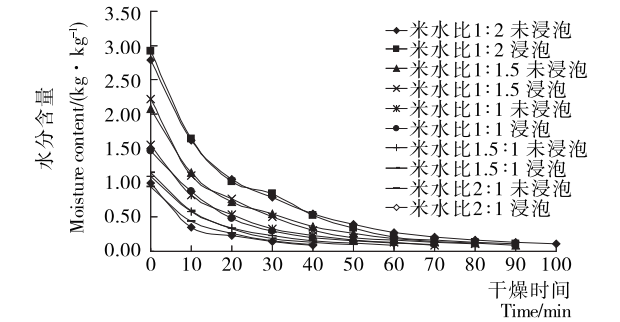


图 2 受浸泡与米水比例影响的预烹调小米微波对流恒温干燥曲线

Figure 2 Microwave-convective drying curves of precooking millet as affected by soaking and millet/water ratio under constant temperature

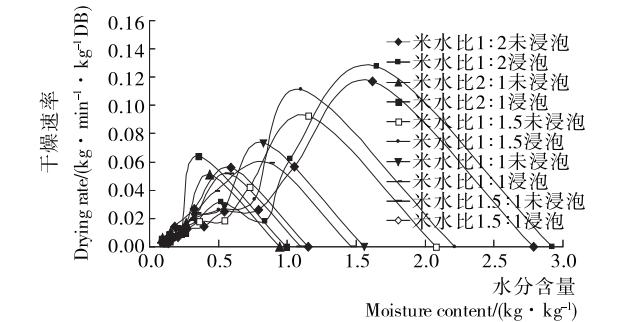


图 3 受浸泡与米水比例影响的预烹调小米微波对流恒温干燥速率曲线

Figure 3 Microwave-convective drying rate curves of precooking millet as affected by soaking and millet/water ratio under constant temperature

表 3 受浸泡与米水比例影响的预烹调小米微波对流恒温干燥 (Henderson and Pabis)模型参数与有效水分扩散系数

Table 3 Henderson and Pabis model parameters and effective moisture diffusion coefficient of microwave-convective drying for precooking millet as affected by soaking and millet/water ratio under constant temperature

处理方式		Henderson and Pabis 模型参数				有效水分扩散系数	
米水比 (g/mL)	浸泡	a	k	R^2	χ^2	$D_{eff} /$ ($\times 10^{-7} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	R^2
1.0 : 2.0	未浸泡	0.962 8	0.042 1	0.988 5	0.001 0	3.30	0.994 8
	浸泡	0.967 5	0.045 4	0.987 4	0.001 2	3.78	0.993 9
1.0 : 1.5	未浸泡	0.962 5	0.045 8	0.985 3	0.001 3	3.54	0.994 9
	浸泡	0.963 2	0.051 3	0.983 4	0.001 5	3.78	0.988 9
1.0 : 1.0	未浸泡	0.968 5	0.049 8	0.987 1	0.001 2	3.72	0.992 3
	浸泡	0.991 2	0.050 5	0.991 5	0.086 9	3.83	0.988 9
1.5 : 1.0	未浸泡	0.965 3	0.051 7	0.978 7	0.001 8	3.53	0.981 6
	浸泡	0.984 0	0.059 1	0.987 8	0.001 1	3.89	0.977 4
2.0 : 1.0	未浸泡	0.976 6	0.063 2	0.986 7	0.001 4	4.65	0.991 4
	浸泡	0.973 1	0.077 7	0.971 4	0.003 0	5.03	0.988 9

表 4 受浸泡与米水比例影响的预烹调小米微波对流恒温干燥产品的色值[†]

Table 4 Color of microwave-convective dried millet as affected by soaking and millet/water ratio under constant temperature

处理条件		L^*	a^*	b^*	C^*	$h/(^{\circ})$	ΔE
米水比(g/mL)	浸泡						
对照组		72.94±2.21 ^a	11.50±1.05 ^a	53.89±1.13 ^a	55.10±1.89 ^a	77.99±1.75 ^b	—
1.0 : 2.0	未浸泡	34.46±0.35 ^f	5.41±0.98 ^{ef}	33.98±0.85 ^f	34.41±1.15 ^e	80.99±1.35 ^a	43.75±1.84 ^b
	浸泡	33.47±1.25 ^f	4.79±0.03 ^f	29.78±0.21 ^g	30.16±0.44 ^f	80.90±0.78 ^a	46.74±0.98 ^a
1.0 : 1.5	未浸泡	44.86±1.31 ^d	6.04±0.21 ^{de}	35.10±0.71 ^e	35.62±0.98 ^e	80.28±1.98 ^a	34.23±0.67 ^c
	浸泡	32.67±0.23 ^f	5.83±0.18 ^{ef}	30.64±0.37 ^g	31.19±0.67 ^f	79.27±2.99 ^a	46.84±1.76 ^a
1.0 : 1.0	未浸泡	49.67±0.99 ^c	7.63±0.12 ^{cd}	38.68±0.87 ^{cd}	39.43±0.71 ^{cd}	78.88±1.15 ^{ab}	28.07±0.23 ^e
	浸泡	42.54±0.19 ^e	6.20±0.11 ^{de}	37.77±0.23 ^d	38.28±0.21 ^d	80.72±1.33 ^a	34.82±0.45 ^c
1.5 : 1.0	未浸泡	51.93±1.32 ^c	8.48±0.45 ^{bc}	40.47±0.92 ^c	41.35±0.32 ^c	78.21±1.33 ^{ab}	25.11±1.24 ^f
	浸泡	45.75±0.54 ^d	7.56±0.21 ^{cd}	38.19±0.86 ^{cd}	38.93±0.24 ^d	78.84±2.35 ^{ab}	31.64±0.89 ^d
2.0 : 1.0	未浸泡	55.75±2.43 ^b	9.19±0.18 ^b	46.25±0.75 ^b	47.15±1.56 ^b	78.80±0.89 ^{ab}	18.95±1.77 ^g
	浸泡	49.20±0.21 ^c	8.08±0.17 ^{bc}	40.25±0.55 ^c	41.05±0.74 ^c	78.69±0.76 ^{ab}	27.59±0.65 ^e

† 同列不同字母表示有显著差异(P<0.05)。

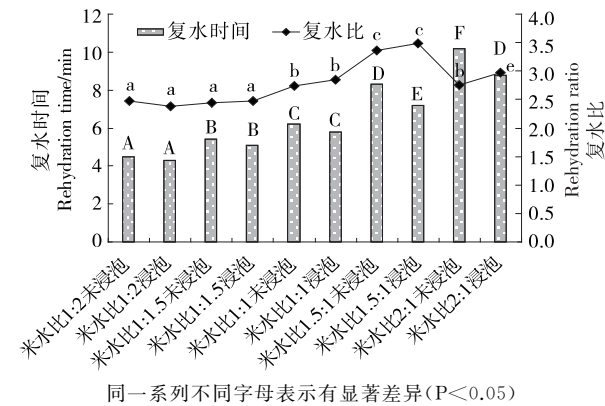


图 4 受浸泡与米水比例影响的预烹调微波对流恒温干燥小米的复水时间与复水比

Figure 4 Rehydration characteristics of microwave-convective dried millet as affected by soaking and millet/water ratio under constant temperature

张敏等^[7]报道小米方便粥的复水时间为 15 min,复水比为 3.79。原因是过度蒸煮致使米粒表面裂开,导致米粒的物质损失,从而复水比减小,复水时间较短。一般小米在具有最佳含水率时淀粉糊化程度越大,复水后品质越好,而当水的比例较小时,淀粉还未糊化完全,小米有夹生现象,因而复水时间也会变长。

2.5 浸泡条件对小米干燥后感官品质的影响

2.5.1 浸泡条件对蒸制后小米感官品质的影响 由表 5 可知,浸泡条件对熟制小米的色泽、气味、外观、滋味、口感与总评分有显著影响。不管浸泡与否,当米水比例在 1 : 1,1.5 : 1 (g/mL)时,熟制后的小米感官评分较高。其中得分最高的是米水比例为 1.5 : 1 (g/mL)浸泡后蒸制的小米,其具有鲜艳的浅黄色、米香味强烈、开裂适度外观完整、滋味醇厚浓郁与口感软硬适宜的特征。水的比例过高会使米粒过度熟化导致小米过度开花,色泽变淡,且产生大量的黏块。当水的

比例较小时小米香味不足,会有夹生现象发生。2 种情况都会导致蒸制后的小米感官品质较差。

2.5.2 浸泡条件对干燥后小米感官品质的影响 由表 6 可知,浸泡条件对熟制小米的色泽、气味、外观、触感以及总评分有显著影响,与蒸制后小米感官品质评定结果相一致,熟制后

感官评分高的小米干燥后同样获得了相对较高的评分。米水比例为 1.5∶1 (g/mL)浸泡后蒸制干燥的小米获得最高分,表现为色泽明亮、米粒完整、饱满、松散度好、柔滑、不黏手。而较大或较小的米水比例都会影响其光泽、黏度和硬度,导致其色泽、外观和触感变差,而使干燥产品的感官品质较差。

表 5 受浸泡与米水比例影响的高压烹调小米的感官评定结果[†]
Table 5 Sensory scores of cookedmillet as affected by soaking and millet/water ratio

处理条件		色泽	气味	外观	滋味	口感	总分
米水比(g/mL)	浸泡						
1.0∶2.0	未浸泡	6.2±0.6 ^a	12.3±0.7 ^{cd}	9.5±0.4 ^b	20.4±1.5 ^c	18.4±1.1	66.8±3.5 ^d
	浸泡	5.6±0.3 ^a	13.7±1.2 ^d	7.2±0.6 ^a	21.3±1.7 ^c	16.5±1.5	64.3±2.1 ^c
1.0∶1.5	未浸泡	8.4±0.7 ^b	11.5±1.1 ^c	11.2±0.4 ^c	20.5±1.3 ^c	20.6±1.6	72.2±1.9 ^e
	浸泡	8.2±1.1 ^b	13.5±1.7 ^d	8.6±0.5 ^b	23.7±0.4 ^d	18.2±1.2	72.2±1.7 ^e
1.0∶1.0	未浸泡	13.5±0.8 ^c	10.7±0.9 ^{bc}	11.8±1.7 ^c	21.2±0.9 ^c	21.4±2.7	76.6±2.1 ^f
	浸泡	12.3±0.9 ^c	12.2±0.8 ^{cd}	13.4±1.5 ^d	23.5±1.7 ^d	20.3±0.8	81.7±1.5 ^g
1.5∶1.0	未浸泡	14.4±1.2 ^d	10.5±0.7 ^{bc}	16.4±0.7 ^e	18.6±0.5 ^b	22.8±0.9	82.7±2.1 ^g
	浸泡	13.4±1.3 ^{cd}	12.5±0.8 ^{cd}	18.8±1.5 ^f	20.5±0.5 ^c	23.6±1.3	88.8±2.5 ^h
2.0∶1.0	未浸泡	10.3±0.8 ^e	7.5±0.3 ^a	13.6±1.2 ^d	15.2±0.7 ^a	7.5±1.1	54.1±1.2 ^a
	浸泡	8.5±0.9 ^b	9.6±0.6 ^b	17.3±0.7 ^e	15.5±1.1 ^a	9.7±0.9	60.6±1.4 ^b

† 同列不同的字母表示有显著差异(P<0.05)。

表 6 受浸泡与米水比例影响的预烹调小米微波对流恒温干燥产品的感官评定结果[†]
Table 6 Sensory scores of microwave-convective dried millet as affected by soaking and millet/water ratio under constant temperature

处理条件		色泽	气味	外观	触感	总分
米水比(g/mL)	浸泡					
1.0∶2.0	未浸泡	10.6±1.1 ^b	12.2±1.0 ^{ab}	10.4±0.9 ^a	10.1±0.7 ^a	43.3±1.3 ^a
	浸泡	7.9±0.4 ^a	13.4±0.2 ^{bc}	10.6±0.1 ^a	10.3±0.6 ^a	42.2±0.3 ^a
1.0∶1.5	未浸泡	14.3±1.2 ^d	11.5±0.8 ^a	18.3±1.1 ^b	17.6±1.4 ^b	61.7±2.5 ^b
	浸泡	12.3±1.5 ^c	14.5±0.9 ^{cd}	17.6±0.6 ^b	16.6±0.9 ^b	61.0±2.1 ^b
1.0∶1.0	未浸泡	17.2±0.3 ^e	15.4±1.7 ^d	23.5±0.9 ^d	21.4±0.8 ^c	77.5±2.5 ^d
	浸泡	16.9±1.5 ^e	17.5±1.1 ^e	20.7±2.1 ^c	24.5±0.9 ^{de}	79.6±3.2 ^{de}
1.5∶1.0	未浸泡	19.5±1.1 ^f	17.6±1.4 ^e	20.5±1.3 ^c	23.6±2.1 ^d	81.2±3.5 ^e
	浸泡	18.6±1.5 ^f	18.7±2.5 ^e	26.6±1.5 ^e	25.6±1.4 ^e	89.5±2.3 ^f
2.0∶1.0	未浸泡	12.7±1.5 ^c	11.7±1.5 ^a	17.4±0.8 ^b	17.6±0.6 ^b	71.4±1.5 ^c
	浸泡	14.6±1.2 ^d	15.7±1.1 ^d	20.6±0.9 ^c	21.6±0.8 ^c	72.5±1.5 ^c

† 同列不同的字母表示有显著差异(P<0.05)。

3 结论

本研究显示高压汽蒸前米水比例与浸泡与否对方便小米微波对流恒温干燥动力学及产品色泽、复水时间、复水比、感官品质有显著影响;基于 Henderson and Pabis 模型可以预测小米干燥过程的水分含量,应用菲克扩散定律计算得到的有效水分扩散系数为 $3.30\times10^{-7}\sim5.03\times10^{-7}\text{ m}^2/\text{s}$,并随水的比例增大而增大。水比例过高导致小米过度熟化,而过低导致小米熟化不充分,均使干燥产品品质降低。熟化前浸泡可进一步改进干燥产品品质,米水比例为 1.5∶1 (g/mL)常温浸泡 3 h 后获得的方便小米产品具有最高的感官评分。本工艺制得的方便小米

营养成分损失小,用途广泛,既可与主食方便米饭搭配在一起,用作其营养强化,亦可用于方便小米粥的原料,也可粉碎后制作即冲型谷物饮料。

参考文献

[1] 焦华杰. 方便小米粥生产工艺及糊化回生机理研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013: 1-3.
[2] 高陆卫, 史万民, 郭常振. 小米精深加工技术探讨[J]. 河北农业科学, 2010, 14(11): 147-148.
[3] 苏美玲, 单垣恺, 李博睿, 等. 杂粮方便米饭研究现状及展望[J]. 粮食流通技术, 2016, 3(5): 46-47.

(下转第 206 页)

以控制发酵环境中有效成分的氧化,在一定程度上延长了产品的保质期。由于辣椒具有季节性,后续可尝试用于辣椒进行乳酸发酵,以保证企业规模化生产的不间断。

参考文献

[1] WATARU A, YUJI N, TOSHIKAZU Y. Exercise and functional food[J]. Nutrition Journal, 2006, 5(15): 1-8.

[2] UTE Schweiggert, REINHOLD Carle, ANDREAS Schieber. Characterization of major and minor capsaicinoids and related compounds in chili pods (*Capsicum frutescens* L.) by high-performance liquid chromatography/atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry[J]. Analytica Chimica Acta, 2006 (557): 236-244.

[3] MACHO A. Non-pungent capsaicinoids from sweet pepper synthesis and evaluation of the chemopreventive and anticancer potential[J]. Eur Nutr, 2003, 42(1): 2-9.

[4] 王雪雅, 吴华丽, 丁筑红, 等. 纯种乳酸菌接种发酵辣椒综合素质特性研究[J]. 中国酿造, 2016(9): 119-124.

(上接第 184 页)

[13] 余杰, 杨振国, 熊夏宇, 等. 复合酶水解牡蛎蛋白的动力学研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(20): 142-144.

[14] 侯清娥, 秦小明, 林华娟, 等. 基于神经网络法制备牡蛎呈味肽工艺优化研究[J]. 食品工业科技, 2011(11): 301-304.

[15] 梁帅峰, 梁春辉, 王伟, 等. 牡蛎酶解液酶解工艺优化研究[J]. 食品工业, 2015(3): 158-161.

[16] 冯丹丹, 冯金晓, 薛勇, 等. 四种蛋白酶对牡蛎的酶解效果研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(12): 189-192.

[17] 钟秋平, 熊拯, 林美芳. 胰蛋白酶对近江牡蛎的酶解工艺研究[J]. 钦州学院学报, 2009, 24(6): 27-29.

[18] 宋忠魁, 谢涛, 叶开富, 等. 广西近江牡蛎风味酶酶解工艺研究[J]. 食品科技, 2014(10): 156-159.

[19] 姚玉静, 崔春, 邱礼平, 等. pH—stat 法和甲醛滴定法测定大豆蛋白水解度 准性 比较 [J]. 食品工业科技, 2008(9): 268-270.

[20] 冯琬帛, 崔春, 任娇艳, 等. 咸蛋清蛋白深度酶解工艺优化研究

(上接第 195 页)

[4] 辛卓霖, 李鸿萱, 韩宛君, 等. 制作工艺及干燥方法对速食小米粥品质的影响探究[J]. 食品工业科技, 2017, 31(6): 283-305.

[5] 石磊, 王世清, 陈海华, 等. 浸泡温度及米水比例对小米淀粉糊化特性的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 31-34.

[6] 周薇, 邢明, 李远志. 响应面法优化方便米饭蒸煮工艺[J]. 食品工业科技, 2014, 35(12): 287-290.

[7] 张敏, 刘辉, 杨明, 等. 速食小米粥的研制[J]. 食品工业科技, 2010, 31(6): 209-211.

[8] 王立东, 张桂芳, 包国凤, 等. 微波热风复合干燥制备速食小米方便粥的复水性研究[J]. 粮食与饲料工业, 2013, 12(6): 25-28.

[9] BOTH A G E, OLIVEIRA J C, AHRNÉ L. Microwave assisted air drying of osmotically treated pineapple with variable power programmes[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(2): 304-311.

[10] FLOBERG P. Microwave Convective Drying of Plant Foods at

[5] 卢翰, 苏爱军, 谭兴和. 辣椒酱发酵工艺研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(3): 126-129.

[6] 崔小利, 王薇, 阙建全. 鲜辣椒纯种发酵的菌株优选[J]. 食品科学, 2014(21): 149-153.

[7] 王微, 阙建全. 响应面法优化鲜辣椒的纯种发酵工艺[J]. 食品科学, 2014(7): 143-148.

[8] 孟允刚, 唐璎. 西北酸菜高效复合发酵菌种的筛选[J]. 食品科学, 2011(11): 222-227

[9] 卫玲玲, 应铁进, 陈延, 等. 甘蓝泡菜发酵菌种的复配研究[J]. 中国食品学报, 2012(8): 93-97.

[10] 张良, 向文良, 曾泽生, 等. 四川泡菜乳酸发酵菌剂的研究[J]. 食品科学, 2013(19): 200-206.

[11] 朱隆绘, 王修俊. 自然发酵辣椒中天然微生物的分离与鉴定[J]. 中国调味品, 2013, 38(2): 30-33.

[12] 燕平梅, 陈燕飞, 赵文婧, 等. 蔬菜发酵菌种的筛选及发酵特性[J]. 食品科学, 2015(3): 99-103.

[13] 胡博涵, 吴晖, 赖富饶, 等. 耐盐乳酸菌的筛选及其在剁辣椒发酵中的应用[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 51-54, 70.

[J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 146-149.

[21] 苏国万. 花生粕酶解及其产物呈味特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 68.

[22] 赵谋明, 徐巨才, 刘雷, 等. 不同 HLB 值的表面活性剂对核桃仁酶解特性的影响[J]. 现代食品科技, 2016(7): 109-114.

[23] 周雪松. 鸡肉蛋白酶解及其产物抗氧化活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2006: 58-59.

[24] 付莉, 岳喜庆, 赵凯. 胰蛋白酶制备乳蛋白水解物的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(23): 167-170.

[25] 朱新武. 鸡肉美拉德肽的制备及其呈味研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2015: 21-38.

[26] 侯清娥. 基于神经网络的牡蛎呈味肽制备及呈味特性研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011: 10-17.

[27] 韩富亮, 郭安韵, 王华, 等. 食源性鲜味肽和浓厚感肽的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(23): 314-320.

[28] KOHYAMA K. Oral sensing of food properties[J]. Journal of Texture Studies, 2015, 46(3): 138-151.

Constant and Variable Microwave Power [J]. Drying Technology, 2007, 25(7/8): 1 149-1 153.

[11] 莫愁, 陈霖, 陈懿, 等. 微波干燥恒温控制系统的设计[J]. 食品与机械, 2011, 27(2): 77-79.

[12] 徐晚秀, 李臻锋, 李静, 等. 微波干燥温度和物料厚度对铁棍山药片品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 191-193.

[13] KAYA A, AYDIN O, DEMIRTAS C, et al. An experimental study on the drying kinetics of quince[J]. Desalination, 2007, 212(1): 328-343.

[14] 张黎骅, 武莉峰, 党鑫凯, 等. 鲜切高山野山药片微波间歇干燥特性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 39-44.

[15] VEGA-GÁLVEZ A, MIRANDA M, CLAVERÍA R, et al. Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*) [J]. LWT-Food Sci Technol, 2011, 44: 15-23.