发芽糙米热风和微波干燥特性及品质研究

许绰微[1]，张璐[1]，赵思明[1]，熊善柏[1]，谢蒙蒙[1]，张培[2]
（1.华中农业大学食品科学技术学院，湖北武汉 430070）（2.河南省药品审评认证中心，河南郑州 450000）

摘要：本文以糙米为原料，将糙米发芽后进行热风干燥和微波干燥，通过比较热风干燥与微波干燥对发芽糙米干燥特性、主要营养成分、酶解力、硬度及色泽的影响，建立干燥数学模型，为微波干燥品质预测与干燥条件的控制提供依据。基于 Fick 扩散定律建立的干燥模型与 Page 方程可分别很好地拟合发芽糙米的热风与微波干燥曲线。随着热风温度的升高或微波比功率的增大，干燥速度常数和水分有效扩散系数都呈逐渐增大的趋势，发芽糙米的热风干燥活化能为 55.76 kJ/mol。干燥条件对发芽糙米的主要营养成分含量、酶解力及硬度都有显著的影响。微波干燥条件下发芽糙米的还原糖、游离氨基酸及 γ-氨基丁酸含量较低。发芽糙米在干燥过程中发生了褐变反应，颜色以黄色为主，微波干燥得到的发芽糙米的红度高于热风干燥。

关键词：发芽糙米；热风干燥；微波干燥；数学模型；γ-氨基丁酸
文章篇号：1673-9078(2016)1-256-260 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.1.040

Effects of Hot Air Drying and Microwave Drying on Characteristics and Quality of Germinated Brown Rice

XU Chuo-wei[1], ZHANG Lu[2], ZHAO Si-ming[1], XIONG Shan-bai[1], XIE Meng-meng[1], ZHANG Pei[2]
(1.College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)
(2.Henan Province for Drug Evaluation Certification Center, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Germinated brown rice (GBR) was dried using hot air or microwaves and effects the drying characteristics, main nutritional content, enzymatic hydrolysability, hardness, and color of the dried GBR were analyzed. Drying mathematical models were established to provide a basis for the prediction of microwave drying and the control of drying conditions. The drying model based on Fick's laws of diffusion and Page equation fit the hot air drying and microwave drying curves of GBR well. The drying rate constant and moisture effective diffusivity increased with the increase in hot air temperature or microwave power per gram. The activation energy of hot air drying of GBR was 55.76 kJ/mol. Drying conditions significantly affected the content of main nutritional content, enzymatic hydrolysability, and hardness. The contents of reducing sugar, free amino acid and γ- aminobutyric acid of GBR treated by microwave drying were relatively low. Browning reaction during the drying process changed the color of the GBR to yellow, while the redness value after microwave drying was higher than that after hot air drying.

Key words: germinated brown rice; hot air drying; microwave drying; mathematical model; γ-aminobutyric acid

糙米在适当的温度、湿度等环境条件下可发芽得到发芽糙米（Germinated brown rice，GBR）。发芽过程中，内源酶被激活[1]，粗纤维外壳被酶解软化，蛋白质降解为多肽和氨基酸，淀粉转变为糖类，植酸酶将植酸降解为肌醇和磷酸，还产生了 γ-氨基丁酸（γ-aminobutyric acid，GABA）、阿魏酸和磷酸六肌醇盐等[2~3]生理活性成分，从而改善了糙米的营养组成和风味。其中，GABA 是一种广泛存在的抑制性神经递质，具有预防老年痴呆、高血压，抗焦虑，改善脂质代谢等功效。

新鲜的发芽糙米含水量高、营养丰富，易霉变，干燥是提高发芽糙米保质期的关键技术。目前，有关发芽糙米干燥的研究多集中于干燥工艺对发芽糙米干燥速率、营养成分、加工性能与色泽的影响。研究表明，发芽糙米经适当的热风干燥或微波干燥处理，其含水量均可达到安全储藏值，并具有良好的营养品质、感官与加工性能。热风干燥具有干燥设备操作简单、适宜工厂大规模生产的特点，但与微波干燥相比，其热传导方向与水分扩散方向相反，干燥速率较低。微波干燥具有速率快、效率高、安全性高等特点。通过

收稿日期：2015-03-19
基金项目：国家科技支撑计划(2013BAD20B06)
作者简介：许绰微（1991-），女，硕士研究生，研究方向为食品大分子结构与功能特性
通讯作者：赵思明（1963-），女，博士，教授，研究方向为食品大分子结构与功能特性

干燥数学模型的研究，可以了解干燥过程物料的脱水规律，从而使干燥产品的品质得到有效控制。目前对发芽糙米的热风薄层干燥的数学模型[4]有了一定的研究，但有关发芽糙米微波干燥的数学模型及干燥品质尚不清楚。

本文研究发芽糙米热风干燥和微波干燥的干燥特性，并建立干燥数学模型，探讨干燥条件对发芽糙米有效水分扩散系数、活化能、还原糖、游离氨基酸和 GABA 含量以及淀粉消化特性、硬度和色泽的影响，为发芽糙米品质的预测与干燥条件的控制提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验原料与主要试剂

糙米，扬两优，杂交籼稻，来自华中农业大学植物科学技术学院，其含水量、GABA、游离氨基酸及还原糖的干基含量分别为 11.80±0.20 g/100 g、194.19±37.67 mg/100 g、97.19±11.85 μg/g、10.60±0.80 mg/g。

γ-氨基丁酸，生化试剂，美国 Sigma 公司；*β*-巯基乙醇、重蒸酚、茚三酮、3，5-二硝基水杨酸等试剂均为国产分析纯。

1.2 主要仪器

UltrascanXE 色度仪，美国 Hunter Lab 公司；TA.XT plus 物性测试仪，英国 SMS 公司；恒温恒湿试验箱，东莞市企亚设备制造厂；试验用微波炉，南京本和微波开发有限公司；HP250GS 型智能人工气候箱，武汉瑞华仪器设备有限公司；BS-210S 型分析天平，德国赛多利斯科学仪器公司；DHG-9240 型电热鼓风干燥箱，上海精宏试验设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 发芽糙米的制备

参考文献[1]的方法，将糙米发芽培养至 72 h 时取出待用。

1.3.2 热风干燥试验方法

在恒温恒湿试验箱中进行热风干燥，平流风速 2.5±0.5 m/s，相对湿度10-15%，设计物料量为100 g，将物料平铺于钢制网盘上，铺料密度0.8 kg/m^2，热风温度分别为40 ℃、50 ℃、60 ℃、70 ℃，每10 min记录一次物料质量，直至物料质量达到恒重（两次测量差不超过0.005 g），则认为其达到平衡，测其含水量即为平衡含水量。

1.3.3 微波干燥试验方法

设计物料量为 100 g，铺料密度 4 kg/m^2，微波频率为 2450 MHz，微波功率分别为 250 W、300 W、350 W、400 W，微波干燥过程按照“加热 60 s-间歇 30 s-加热 60 s-间歇 30 s”交替进行，使物料表面温度不超过 70 ℃，累计干燥 1 min 时记录一次物料质量，直至物料质量达到恒重（两次测量差不超过 0.005 g），则认为其达到平衡，测其含水量即为平衡含水量。

1.3.4 含水量的测定

参照 GB/T 5009.3-2010。

1.3.5 GABA 含量的测定

取 2.5 g 发芽糙米，加蒸馏水充分研磨，定容至 50.0 mL，于 30 ℃下水浴浸提 2 h 后，测定 GABA 的含量[1]。

1.3.6 游离氨基酸含量的测定

将发芽糙米粉碎后过 40 目筛，取样 1.0 g，加 5 mL 10%的醋酸溶液充分研磨后，用蒸馏水定容至 25 mL，采用茚三酮法测定游离氨基酸的含量。

1.3.7 还原糖含量的测定

将发芽糙米粉碎后过 40 目筛，取样 0.5 g，用蒸馏水定容至 25 mL，用 DNS 法测定还原糖含量。

1.3.8 色度的测定

采用 UltrascanXE 色度仪进行发芽糙米色度的测定。每个样品从不同的角度分别读数，测 10 次，取 10 次读数的平均值。采用 Lab 表色系，色度特征用明度（L*）、红度（a*）、黄度（b*）表示。

1.3.9 硬度的测定

将物料自然平放在 TA.XT plus 物性测试仪载物台上，模式为 return to start，采用 P/36R 探头以测前速度 1 mm/s，测试速度 0.1 mm/s，测后速度 10 mm/s 对物料进行压缩，压缩比为 50%。

1.3.10 酶解力的测定

将发芽糙米粉碎后过 100 目筛，取样 0.2 g，将样品与蒸馏水在 60 ℃下预热 30 min，向样品中加入 20 mL 蒸馏水，在 60 ℃下水浴 60 s，然后迅速冷却到室温，制得淀粉糊。用酶水解-DNS 比色定糖法测定淀粉酶对淀粉糊的水解能力。

1.3.11 干燥参数的计算方法

发芽糙米干燥过程中的干燥曲线采用水分比随时间变化的曲线。不同干燥时间发芽糙米的水分比按式（1）计算：

$$MR=\frac{M_t-M_e}{M_0-M_e} \quad (1)$$

式中，含水量均以干基表示。MR 为水分比，%；M_o 为初始含水量 g/g；M_e 为干燥到平衡时间的含水量，g/g；M_t 为在

任意干燥 t 时刻的含水量，g/g。

干基含水量（M_t）按式（2）计算：

$$M_t = \frac{W_t - G}{G} \quad (2)$$

W_t 为在任意干燥 t 时刻的总质量，g; G 为干物质的质量，g。

薄层干燥方程[5]（干燥过程的水分比与干燥时间的关系）如式（3）：

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (3)$$

式中，n 为待定系数；k 为干燥速率常数，min^{-1}；t 为干燥时间，min。当 n=1 时，为 Page 方程。

视米粒为球体颗粒，发芽糙米的水分比 MR 与水分有效扩散系数 D_{eff} 的关系如式（4）所示：

$$MR = \exp(-\frac{\pi^2 D_{eff} t^n}{r^2}) \quad (4)$$

式中，D_{eff} 为干燥过程中物料的水分有效扩散系数，m^2/s; r 为发芽糙米粒的当量半径，其值为 1×10^{-3} m; t 为干燥时间，s。

根据阿累尼乌斯方程，干燥活化能（Ea）按式（5）计算：

$$D_{eff} = D_0 \exp(-\frac{E_a}{RT}) \quad (5)$$

式中，D_0为物料中的扩散常数，m^2/s; E_a 为物料的干燥活化能，kJ/mol; R 为通用气体常数，其值为8.314 kJ/kmol; T 为物料的干燥绝对温度，K。

将式子（5）两边取对数，通过绘制 $\ln D_{eff}$ 相对1/T 的曲线，将曲线进行线性拟合，由直线的斜率可以得到 E_a[6]。

1.3.12 数据处理

各指标测定重复3次，采用Excel 2007绘图，应用SAS 8.1对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 发芽糙米的干燥特性

2.1.1 发芽糙米的干燥曲线

发芽糙米热风干燥和微波干燥的干燥曲线采用水分比随时间变化的曲线，如图 1 所示。

由图 1 可知，随着干燥时间的延长，发芽糙米的水分比下降。由图 a 可知，随着干燥温度的增加，达到平衡含水量的时间减少；由图 b 可知，随着微波比功率的增加，达到平衡含水量的时间减少。

微波比功率越大，发芽糙米的微波干燥曲线越陡，到达平衡含水量的时间越短。且微波干燥时达到平衡含水量的时间较短，这可能是由于在热风干燥过程中，传热与传质的方向相反，而微波干燥时传热与传质的方向相同，且在微波频繁交变电磁场的作用下，发芽糙米中的极化水分子迅速旋转，相互摩擦，产生大量热量，使温度快速升高[7]，利于干燥。

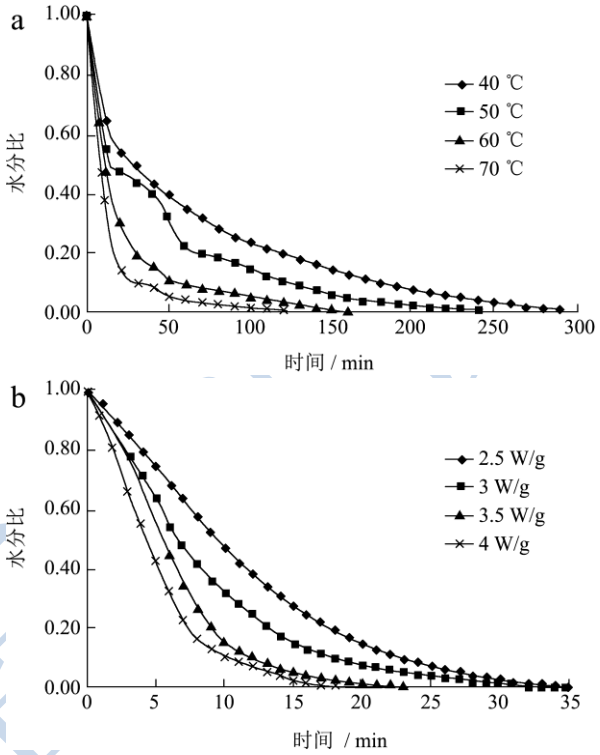


图 1 发芽糙米的干燥曲线

Fig.1 GBR drying curves

注：a.热风干燥曲线，b.微波干燥曲线。

发芽糙米的微波干燥过程基本可分为加速、恒速及降速干燥三个阶段。微波比功率越大，加速阶段越短，进入恒速干燥阶段越快；恒速阶段，失水速率随微波比功率的增大而加快；干燥后期，随着物料含水量的不断降低，物料吸收的微波能量减少，干燥速率也随之降低[8]，这与王仕钰等[9]研究低糖枇杷果脯的微波干燥过程的描述一致。林鸳缘[10]在研究发芽糙米微波干燥过程时，发现微波干燥过程中发芽糙米的含水量呈线性下降，且干燥速度曲线近似水平，故干燥可看成是恒速干燥，这可能是针对其特定试验条件和干燥数据采集条件下的现象描述。

根据式（4），当 n=5 时，发芽糙米热风干燥曲线的拟合精度较高（F 值>650，P<0.0001），Page 模型可较好描述其微波干燥曲线（F 值>7400，P<0.0001）。

2.1.2 干燥速率常数与水分有效扩散系数

根据式（3~5）可计算出发芽糙米热风干燥与微波干燥的干燥速率常数 k 与水分有效扩散系数 D_{eff}，结果如图 2 所示。

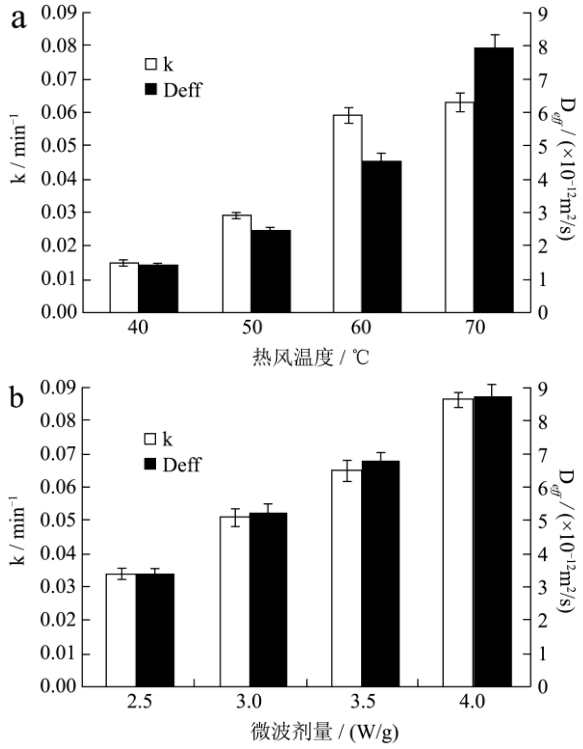


图 2 发芽糙米的干燥速度常数与水分有效扩散系数

Fig.2 GBR drying rate constant and moisture effective diffusivity

注：a.热风干燥，b.微波干燥。

由图a可知，热风干燥条件下，随着热风温度的升高，发芽糙米的干燥速度常数k值和水分有效扩散系数D_{eff}都呈逐渐增大的趋势；由图b可知，微波干燥条件下，随着微波比功率的增大，发芽糙米的干燥速度常数k值和水分有效扩散系数D_{eff}逐渐增大。发芽糙米的k值与D_{eff}越高，说明在干燥过程中，发芽糙米内部水分扩散的越快，干燥至平衡含水量所需要的时间越短。活化能表示干燥过程中脱除物料单位摩尔水分所需的能量，物料的活化能越大，物料越难干燥。由式（5），可计算出发芽糙米的热风干燥活化能为55.76 kJ/mol（R^2=0.9781），与油菜籽的29.26 kJ/mol [11]、合成米的13.5 kJ/mol相比，发芽糙米的热风干燥活化能较大，干燥能耗较大，表明发芽糙米较难干燥。

2.2 干燥对发芽糙米品质的影响

2.2.1 干燥对发芽糙米营养成分、淀粉酶解力及硬度的影响

不同干燥条件下，发芽糙米的还原糖、游离氨基酸和GABA含量、淀粉酶解力及硬度大小如表1所示。

表 1 干燥对发芽糙米品质的影响

Table 1 Effects of drying on the quality of GBR

干燥方式及条件	还原糖 /(mg/g,db)	游离氨基酸 /(μg/g,db)	GABA /(mg/100g,db)	酶解力	硬度 /g
热风 40 ℃	176.33±5.35^{a}	219.72±18.43^{a}	690.59±34.71^{a}	0.484±0.01^{ab}	1143.80±265.87^{a}
热风 50 ℃	175.54±2.01^{a}	218.33±24.18^{a}	463.88±13.62^{c}	0.503±0.01^{a}	1024.34±298.82^{ab}
热风 60 ℃	107.98±1.08^{b}	217.15±19.71^{a}	622.03±27.52^{b}	0.490±0.02^{ab}	809.06±283.37^{cd}
热风 70 ℃	111.20±11.02^{b}	177.73±18.53^{b}	724.12±28.53^{a}	0.499±0.03^{a}	674.84±252.86^{d}
微波 2.5 W/g	132.78±2.65^{b}	187.37±2.55^{b}	86.53±2.29^{f}	0.410±0.03^{d}	902.52±360.62^{bc}
微波 3.0 W/g	116.45±8.99^{c}	170.77±4.46^{bc}	107.55±9.54^{f}	0.422±0.01^{cd}	1036.88±246.81^{ab}
微波 3.5 W/g	86.24±4.23^{d}	155.13±9.65^{c}	196.63±13.46^{e}	0.420±0.01^{cd}	1139.10±330.37^{a}
微波 4.0 W/g	74.87±1.97^{e}	117.00±3.39^{d}	231.66±5.41^{d}	0.455±0.03^{bc}	1213.17±218.84^{a}

注：数值表示为均值±标准偏差，相同字母表明差异不显著（$P>0.05$）；不同字母表明差异性显著（$P<0.05$）。

由表1可知，干燥条件对发芽糙米的还原糖、游离氨基酸、GABA含量、酶解力及硬度都有显著的影响。微波干燥方式下，还原糖和游离氨基酸含量随微波比功率增大而减小，GABA含量随微波比功率的增大而增大；热风干燥方式下，温度对各测量指标的影响不显著，仅60 ℃、70 ℃干燥条件下的还原糖含量显著低于40 ℃、50 ℃干燥条件下的还原糖含量，70 ℃时游离氨基酸含量偏低，可能是高温引起发芽糙米表面轻微焦糖化反应和美拉德反应而消耗了部分游离氨基酸。

酶解力的测定是通过模拟人体内淀粉的酶解过程来评价淀粉质食品的消化特性，酶解力越大，消化吸收性越好。由表1可知，采用热风干燥的发芽糙米的淀粉酶解力稍高，说明热风干燥的发芽糙米的消化吸收性较好。而热风干燥不同温度、微波干燥不同比功率对发芽糙米的酶解力并没有显著的影响。

发芽糙米的硬度随着热风温度的升高而减小，随着微波比功率的增大而增大。

2.2.2 干燥对发芽糙米色泽的影响

干燥对发芽糙米色泽的影响如表2所示。

L*、a*、b*分别反映了试样的透明度、红绿度和黄蓝度，a*>0 表示呈色为红色，b*>0 表示呈色为黄

色。

表 2 干燥对发芽糙米色泽的影响

Table 2 Effects of drying on the color of GBR

干燥方式及条件	L*	a*	b*
热风 40 ℃	66.58±4.86^{a}	3.21±0.56^{c}	13.41±1.87^{cd}
热风 50 ℃	61.34±4.59^{b}	3.71±0.77^{c}	16.22±2.68^{ab}
热风 60 ℃	59.82±5.48^{b}	3.32±1.38^{c}	16.43±3.85^{ab}
热风 70 ℃	61.7±2.81^{b}	4.12±0.87^{bc}	17.08±2.27^{a}
微波 2.5 W/g	60.23±3.71^{b}	4.81±1.24^{ab}	15.92±2.62^{abc}
微波 3.0 W/g	52.23±3.31^{c}	5.39±1.25^{a}	14.20±3.34^{bcd}
微波 3.5 W/g	53.68±1.58^{c}	5.53±1.02^{a}	14.13±2.18^{bcd}
微波 4.0 W/g	50.97±2.84^{c}	5.57±1.28^{ab}	12.12±2.58^{d}

注：数值表示为均值±标准偏差，相同字母表明差异不显著（P＞0.05）；不同字母表明差异性显著（P＜0.05）。

由表 2 可知，干燥条件对发芽糙米的 L*、a*、b*均有显著的影响。发芽糙米的 b*>0，且 b*>a*，表明发芽糙米干燥过程中颜色反应以黄色为主。微波干燥的 a*较大，b*较小（40 ℃除外），L*较小，表明采用微波干燥的发芽糙米产品颜色偏红、较暗，而采用热风干燥的发芽糙米产品颜色发黄、较明亮。郑艺梅等[12]曾报道发芽糙米在干燥过程中可能发生了美拉德反应和焦糖化反应[12]，使颜色变深，这与曲拉干燥过程中发生的脂肪氧化和美拉德反应所致的不良色泽相似[13]。

随着热风温度的升高，b*有所上升，表明黄色加深，这可能是由于热风干燥温度增高，发芽糙米中美拉德反应速率加快，生成的黄色发色团增多，并导致还原糖、游离氨基酸含量降低（如表 1）。随着微波比功率的增加，a*逐渐增大，L*呈降低趋势，产品红色加深，这可能是由于高剂量的微波辐射可使部分还原糖脱水变为焦糖[12]，还原糖含量进一步降低，而焦糖化反应生成的色素物质以红色物质为主，但有研究表明，微波干燥可以减少营养成分流失，防止氧化褐变[14]。

3 结论

基于Fick扩散定律建立的干燥模型及Page方程可分别较好地拟合发芽糙米的热风干燥曲线与微波干燥曲线。发芽糙米热风干燥的速度常数范围和水分有效扩散系数范围分别为0.015-0.063 min^{-1}、1.42-7.93×10^{-12} m^2/s，微波干燥速度常数范围和水分有效扩散系数范围分别为0.034~0.086 min^{-1}、3.40-8.68×10^{-12} m^2/s，两者都随着热风温度的升高或微波比功率的增大而增大，发芽糙米的热风干燥活化能为55.76 kJ/mol。干燥条件对发芽糙米的还原糖、游离氨基酸和GABA含量以及淀粉消化特性、硬度和色泽均有显著的影响。微波干燥条件下发芽糙米的还原糖、游离氨基酸和GABA含量偏低。发芽糙米的硬度随着热风干燥温度的降低或微波比功率的增大而增大。微波干燥发芽糙米产品色泽颜色偏红、较暗；而热风干燥发芽糙米产品色泽发黄、较明亮。

参考文献

[1] 丁俊胄,刘贞,赵思明,等.糙米发芽过程中内源酶活力及主要成分的变化[J].食品科学,2011,32(11):29-32
DING Jun-zhou, LIU Zhen, ZHAO Si-ming, et al. Changes of endogenous enzyme activities and major components in brown rice during germination [J]. Food Science, 2011, 32(11): 29-32

[2] Noriko Komatsuzaki, Kikuichi Tsukahara, Hidechika Toyoshima, et al. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(2): 556-560

[3] Anuchita Moongngarm, Nattawat Saetung. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice [J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 782-788

[4] 贾富国,韩珊,曹银平,等.发芽糙米的干燥特性研究[J].东北农业大学学报,2013,44(2):142-146
JIA Fu-guo, HAN Shan, CAO Yin-ping, et al. Drying characteristics of germinated brown rice [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2013, 44(2): 142-146

[5] P Rajkumar, S Kulanthaisami, GSV Raghavan, et al. Drying kinetics of tomato slices in vacuum assisted solar and open sun drying methods [J]. Drying Technology, 2007, 25(7-8): 1349-1357

[6] Zhengfu Wang, Junhong Sun, Xiaojun Liao, et al. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace [J]. Food Research International, 2007, 40(1): 39-46

[7] J M Arimi, E Duggan, E D O'Riordan, et al. Microwave expansion of imitation cheese containing resistant starch [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(2): 254-262

[8] Ekneet Kau Sahnir, Bodhisattwa Chaudhuri. Contact drying: A review of experimental and mechanistic modeling approaches [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2012, 434(1-2): 334-348

[9] 王仕钰,张立彦,曾婷婷.低糖枇杷果脯的微波干燥动力学研究[J].现代食品技,2012,28(12):1656-1658,1666
WANG Shi-yu, ZHANG Li-yan, ZENG Ting-ting. microwave drying kinetics of low-sugar loquat cand [J].

Modern Food Science and Technology, 2012, 28(12): 1656-1658, 1666

[10] 林鸳缘,曾绍校,郑向华.发芽糙米微波干燥特性的研究[J].农产品加工.学刊,2008,1:10-12

LIN Yuan-yuan, ZENG Shao-xiao, ZHENG Xiang-hua. Study on the drying characteristic of microwave of germinated brown rice [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2008, 1: 10-12

[11] 杨玲,陈建,杨屹立,等.甘蓝型油菜籽热风干燥特性及其数学模型[J].现代食品科技,2014,30(8):144-150

YANG Ling, CHEN Jian, YANG Yi-li, et al. Characteristics and mathematical models for hot-air-dried rapeseed [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(8): 144-150

[12] 郑艺梅,王明才,华平.发芽糙米微波干燥工艺研究[J].粮食与饲料工业,2005,11:1-2

ZHENG Yi-mei, WANG Ming-cai, HUA Ping. A study on technology for microwave drying of germinated brown rice [J]. Cereal and Feed Industry, 2005, 11: 1-2

[13] H N Liu, C Zhang, H Zhang, et al. pH treatment as an effective tool to select the functional and structural properties of yak milk caseins [J]. Journal of Dairy Science, 2013, 96(9): 5494-5500

[14] Y Soysal, M Arslan, M Keskin. Intermittent microwave-convective air drying of oregano [J]. Food Science and Technology International, 2009, 15(4): 397-406

现代食品科技