

小麦微波干燥特性及其对品质的影响

朱德泉¹, 王继先^{1*}, 朱德文², 周杰敏¹, 邵陆寿¹, 李兵¹

(1. 安徽农业大学工学院, 合肥 230036; 2. 农业部南京农机化研究所, 南京 210014)

摘要: 针对小麦热风干燥中存在的问题, 运用微波试验装置, 通过选择不同的干燥功率、物料铺放厚度及排湿风速, 研究了小麦微波干燥特性及其对干后品质和能耗的影响。研究表明: 小麦微波干燥主要处于恒速阶段, 微波干燥对小麦品质有显著的影响, 小麦籽粒的发芽率和 SDS 沉降值对微波处理的反应比较敏感, 可以作为小麦热损伤的指标和小麦品质变化的检测指标, 小麦微波干燥能耗主要受排湿风速影响。

关键词: 小麦籽粒; 微波干燥; 干燥特性; 品质

中图分类号: TS210.4; S513; JQ028.6⁺7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2006)04-0182-04

朱德泉, 王继先, 朱德文, 等. 小麦微波干燥特性及其对品质的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 182-185.

Zhu Dequan, Wang Jixian, Zhu Dewen, et al. Experimental study on wheat grain microwave drying characteristics and its effect on the quality of wheat grain[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(4): 182-185. (in Chinese with English abstract)

0 引言

小麦是中国主要粮食作物之一, 因天气原因, 收获时水分含量偏高, 如不能及时干燥会出现变质霉烂现象, 严重影响小麦的产量和品质, 大大降低了经济效益。但传统的热风干燥存在干燥时间长、能耗大、干燥品质差等状况。微波干燥不同于热风及其它干燥方式, 由于其独特的加热特性, 物料干燥速度快、时间短、干后品质和热利用率高, 在医药、食品工业、化工、烟草以及农产品加工等领域越来越受到重视和应用^[1-6]。国外在十几年前就开始微波干燥粮食和果蔬的研究^[7-10], 近几年国内也有关于稻谷、油菜籽和荔枝等方面的微波干燥研究报道, 有些已得到成功应用并取得显著的经济效益^[1, 8-12]。但尚未见到有关小麦微波干燥特性研究的文献报道, 故进行小麦微波干燥试验研究, 分析小麦微波干燥特性及其对干后品质和能耗的影响。

1 试验材料与方法

1.1 试验测控系统

试验所用微波干燥装置是用 WP750-1 型微波炉改制而成, 微波工作频率为 2450 MHz(可调节), 根据以前的试验结论, 本试验统一选用 75 W 档^[13, 14]。其测控系统主要包含模拟量输入、模拟量输出、数字量输入、数字量输出、设备状态显示、文件记录、PID 控制等模块, 干燥过程中工艺参数的测试和控制都是通过自行开发的软件系统实现的, 测控系统原理如图 1 所示。用户可以实时监测温度、湿度和风速等重要干燥参数, 随时人

工调整控制参数。中心计算机控制数据采集板, 实时采集微波干燥箱内的温度和湿度信号, 同时通过转速传感器采集风机速度信号。根据所获取的信号, 中心计算机自动计算合适的微波功率和风速, 通过模拟量输出板的 D/A 转换, 实时控制和调整微波功率和风速。微波和电机的开关也是通过中心计算机控制的。

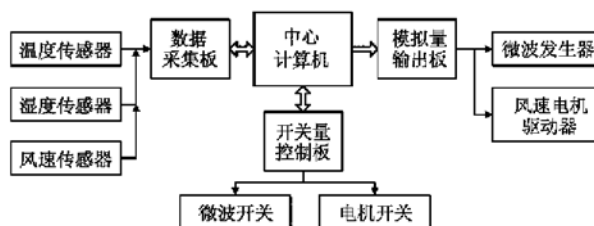


图 1 试验测控系统原理图

Fig. 1 Principle diagram of test and control system of experiment

1.2 试验材料

试验材料是中强面筋小麦品种扬麦 7 号, 由安徽农业大学试验农场提供。

1.3 试验方法及测定方法

收获脱粒后的小麦籽粒用塑料袋封装, 在 4℃ 左右下储藏。试验前按国家 GB5496-85 标准测出籽粒原始含水率。试验中的含水率一律用干基含水率来表示。按国家 GB5520-85 标准测出籽粒发芽率。测得供试材料原始含水率为 16.5%, 发芽率为 94.2%, 参照国家小麦籽粒入库储藏标准, 将小麦籽粒微波干燥最终干基含水率确定在 11.5%~12.5% 的范围内。在给定风速和给定干燥功率的条件下, 找出其干燥所需的时间, 测定发芽率和 SDS 沉降值、湿面筋含量、面筋-乳酸溶液透光率、Pelshenke 值等小麦理化指标和能耗, 确定微波干燥小麦工艺。

质量由 TG725C 型单盘分析天平测量, 精度为 ±0.01 g, 发芽率的测定参照 GB5520-85 标准在 101-1 电热恒温箱内进行, SDS 沉降值的测定参照

收稿日期: 2005-03-20 修订日期: 2006-01-20

基金项目: 国家星火计划项目(2004EA690184)

作者简介: 朱德泉(1969-), 男, 安徽天长人, 讲师, 主要从事农业机械化工程研究。合肥 安徽农业大学工学院, 230036。Email: dqzhu@sina.com

*通讯作者: 王继先(1950-), 男, 安徽肖县人, 教授, 主要从事农业机械化工程研究。合肥 安徽农业大学工学院, 230036

AACC56-63 标准在沉降值测定仪上进行, 湿面筋含量的测定参照 GB/T 14608-93 标准进行, 面筋-乳酸溶液透光率的测定参照 AACC52-50 标准进行, Pelshenke 值的测定参照 AACC56-50 标准进行, 蛋白质含量用近红外分析仪测定。

选用干燥功率(A)、物料铺放厚度(B)和风速(C)为试验因素, 以小麦籽粒的发芽率、SDS 沉降值、湿面筋含量、面筋-乳酸溶液透光率、Pelshenke 值和能耗作为评价指标, 进行 $L_{25}(5^6)$ 正交试验(见表 1), 每个处理重复 4 次, 取其平均值。

表 1 正交试验因素与水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	干燥功率 A/W · g ⁻¹	物料铺放厚度 B/cm	风速 C/m · min ⁻¹
1	0.15	1.0	30
2	0.20	1.5	45
3	0.25	2.0	60
4	0.30	2.5	75
5	0.35	3.0	90

2 结果与分析

2.1 微波干燥特性及其影响因素

2.1.1 干燥功率对微波干燥特性的影响

图 2、3、4 是在风速为 45 m/min, 物料铺放厚度为 2.0 cm 时的小麦籽粒含水率与干燥时间的关系曲线、干燥速率随籽粒含水率的变化曲线和籽粒表面温度与干燥时间的关系曲线。随干燥时间的延长, 小麦的含水率逐渐下降, 而且微波干燥功率越大, 小麦温度升高得越快, 干燥速率越大, 水分下降得越快。但干燥功率过大, 导致物料温度过高和干燥速率过快, 易引起小麦焦化和品质下降^[14]。

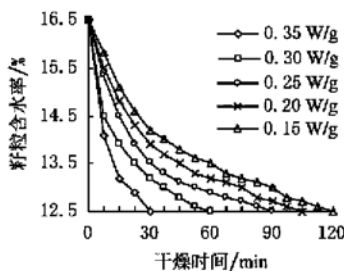


图 2 小麦籽粒含水率与干燥时间的关系曲线
Fig. 2 Curves of moisture content of wheat grain vs. drying time

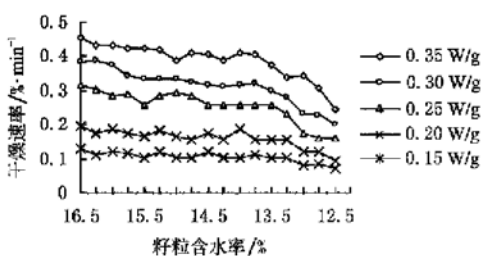


图 3 干燥速率随籽粒含水率的变化曲线
Fig. 3 Curves of drying rate varying with moisture content of wheat grain

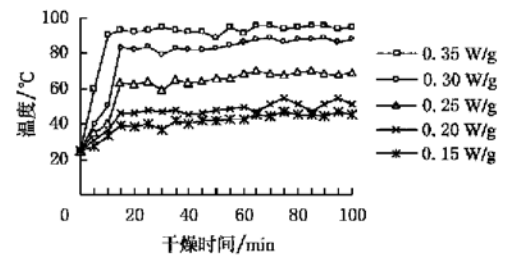


图 4 籽粒表面温度与干燥时间的关系曲线
Fig. 4 Curves of surface temperature of wheat grain vs. drying time

由图 3 得出, 整个干燥过程可分为恒速干燥阶段和降速干燥阶段, 与微波干燥稻谷、油菜籽过程相似^[6,8]。在干燥初期, 物料含水率高, 对微波能的吸收能力较强, 温度快速上升, 迅速进入恒速干燥阶段, 物料温度趋于稳定, 所以小麦失水过程绝大多数处于恒速干燥阶段。而在热风干燥和其它辐射加热干燥中, 整个干燥过程可分为加速干燥阶段、恒速干燥阶段和降速干燥阶段, 小麦失水过程绝大多数处于极缓慢的降速阶段^[6,11]。这是因为微波比其它用于辐射加热的电磁波, 如红外线等波长更长, 具有更好的穿透性, 可对绝大多数的非金属材料穿透到相当的深度, 干燥的物料加热表里一致, 物料内的温度梯度与湿度梯度也相一致, 物料内水分迁移速度与表面水分蒸发速度保持平衡的时间较长^[15]。

2.1.2 排湿风速对微波干燥特性的影响

图 5、6 是在物料铺放厚度为 2.0 cm, 干燥功率为 0.2 W/g 时的风速对干燥速率和干燥温度的影响。可以得出, 排湿风速增加, 温度降低, 小麦籽粒水分下降减慢, 干燥总时间略增。微波干燥时, 由于小麦籽粒温度高于排湿气流温度, 当排湿风速提高后, 小麦籽粒与周围的对流换热程度增强, 用于失热的热量相对减少^[8]。

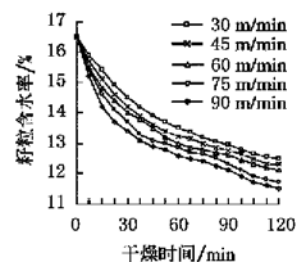


图 5 风速对干燥速率的影响
Fig. 5 Effect of airflow rate on average drying rate

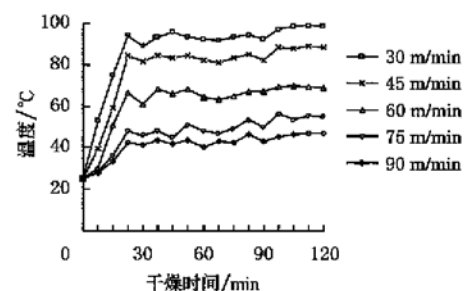


图 6 风速对干燥温度的影响
Fig. 6 Effect of airflow rate on drying temperature

2.2 干燥特性对干后品质的影响

2.2.1 不同干燥条件对小麦籽粒发芽率的影响

试验结果如表2所示,从总体上来看,随着干燥功率和风速的提高,发芽率在下降,而且干燥功率和风速越高,发芽率下降得越快;干燥功率较小时,小麦籽粒发芽率较高,当干燥功率过高,导致干燥温度过高损伤了小麦籽粒的胚芽,降低了籽粒的活力,发芽率开始急剧下降。铺放厚度为2.0 cm时发芽率最高,铺放厚度过大或过小发芽率都会有所下降。这是因为厚度过大,干燥所需时间越长,小麦籽粒间由于水分蒸发不出去,形成

过多明水,易对小麦籽粒形成煮熟,但由试验知,铺放过薄,小麦籽粒因失水过快,会产生焦糊现象,导致发芽率下降。通过正交试验分析,如表3所示,得出影响小麦籽粒发芽率的因素主次顺序为A>B>C,进一步方差分析得出干燥功率对小麦籽粒发芽率的影响极显著,而风速和铺放厚度对小麦籽粒发芽率的影响显著,因素间的交互作用对小麦籽粒发芽率的影响不显著。因此,从得到最高小麦籽粒发芽率来考虑,小麦籽粒微波干燥的最佳工艺组合为A₂B₃C₂。

表2 微波干燥条件对小麦籽粒干后品质指标和能耗的影响

Table 2 Effect of microwave drying conditions on quality indicators of dried wheat grain and energy consumption

	干燥功率 A/W · g ⁻¹					铺放厚度 B/cm					风速 C/m · min ⁻¹					
	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	30	45	60	75	90	
发芽率/%	94.4	96.3	67.1	56.4	33.1	66.5	84.5	94	91.8	83.2	92.4	93.2	85.6	77.1	62.3	
SDS 沉降值/mL	38.4	37.9	36.8	33.2	30.1	22.5	26.5	31	28.7	25.3	37.5	31.8	25.2	13.2	8.9	
湿面筋含量/%	26.5	26.9	27	27.2	27.3	25.6	26.7	26.8	26.5	27.5	26.5	26.7	26.9	27.2	27.4	
面筋-乳酸溶液透光率/%	93.2	94	91.7	92.5	91.5	83.7	92.2	95.1	92.5	87.7	93.2	92.5	91.7	90.4	86.9	
Pelshenke 值/min	54	263	283	373	269	281	358	384	332	282	264	273	285	354	315	
蛋白质组分含量 /%	I	33.4	34.8	33.3	30.6	31.2	29.5	32.1	33.4	32.1	31.6	34.1	35.2	33.7	33.4	30.2
	II	28.6	28.1	27.3	27.6	27.1	27.7	27.2	28.5	27.0	26.5	28.6	28.3	27.4	27.1	27.3
	III	6.5	7.2	7.1	5.5	5.1	5.8	6.4	7.3	6.8	5.4	6.7	7.5	7.2	6.6	6.0
	IV	31.5	29.9	32.3	36.3	36.6	37.0	34.3	30.8	34.1	36.5	30.6	29.0	32.7	32.9	34.5
能耗/kJ · g ⁻¹	1.95	2.32	2.46	2.76	3.01	2.36	2.25	2.21	2.63	3.13	2.51	2.32	3.26	4.46	5.86	

注:组分I代表球清蛋白,组分II代表醇溶蛋白,组分III代表乙酸可溶性蛋白,组分IV代表乙酸不可溶性蛋白。

表3 正交试验分析

Table 3 Analysis of orthogonal experiment

指 标	极 差						方差分析						
	A	B	A×B	C	A×C	B×C	A	B	A×B	C	A×C	B×C	
发芽率/%	63.2	27.5	12.1	20.9	4.12	4.78	20.87 [*]	6.76 [*]	2.41	8.43 [*]	2.10	2.28	
SDS 沉降值/mL	8.3	8.5	3.7	28.6	3.11	2.41	6.72 [*]	7.19 [*]	3.12	30.54 [*]	2.39	2.21	
湿面筋含量/%	1.7	1.9	0.8	0.9	0.6	0.3	2.23	2.79	1.36	1.54	1.21	0.89	
面筋-乳酸溶液透光率/%	2.5	11.4	2.1	6.3	2.4	1.7	2.75	11.7 [*]	2.12	7.82 [*]	2.51	1.72	
Pelshenke 值/min	19	77	13	90	10	9	3.89	16.51 [*]	3.31	21.22 [*]	2.94	2.74	
蛋白质组分含量/%	I	4.2	3.9	2.1	5.0	2.8	1.4	4.41	3.21	2.12	6.79 [*]	2.69	1.34
	II	1.5	2.0	0.8	1.5	1.1	0.7	1.89	2.07	0.86	1.76	1.32	0.67
	III	1.4	1.9	0.8	1.5	0.3	0.4	7.4	13.4 [*]	3.21	8.32 [*]	2.21	2.89
	IV	6.7	6.2	3.2	5.5	2.1	2.4	7.43 [*]	5.32	2.34	4.21	1.89	2.12
能耗/kJ · g ⁻¹	1.06	0.88	0.16	3.54	0.21	0.07	7.26 [*]	4.87	1.76	86.51 [*]	2.21	0.89	

注:组分I代表球清蛋白,组分II代表醇溶蛋白,组分III代表乙酸可溶性蛋白,组分IV代表乙酸不可溶性蛋白。

2.2.2 不同干燥条件对小麦籽粒品质指标的影响

从试验结果的总体来看,SDS 沉降值、面筋-乳酸溶液透光率、醇溶蛋白含量和球清蛋白含量随着干燥功率和风速的提高有所下降,湿面筋含量和乙酸不可溶性蛋白含量随着干燥功率和风速的提高有所提高,SDS 沉降值、湿面筋含量、面筋-乳酸溶液透光率、醇溶蛋白含量和球清蛋白含量在铺放厚度为2.0 cm时最高,铺放厚度过大或过小都会有所下降,而Pelshenke值和乙酸可溶性蛋白含量受干燥功率、铺放厚度和风速影响不大。从表2进一步分析可知,较小的干燥功率对蛋白质组分含量没有显著影响,干燥功率为0.3 W/g时,醇溶蛋白含量保持不变,球清蛋白含量和乙酸可溶性蛋白含量减少,乙酸不可溶性蛋白含量明显增加,说明小麦籽

粒的蛋白质品质已明显下降;SDS 沉降值在干燥功率较小时,SDS 沉降值下降不大,从0.25 W/g以后,SDS 沉降值开始大幅度下降,即表现更为敏感。因而SDS 沉降值可作为优先考虑的小麦品质指标^[3]。通过正交试验分析,可得出影响小麦 SDS 沉降值的因素主次顺序为C>B>A,再从方差分析可以得出干燥功率对小麦籽粒 SDS 沉降值和乙酸不可溶性蛋白含量的影响显著,铺放厚度对面筋-乳酸溶液透光率、乙酸可溶性蛋白含量和Pelshenke值的影响极显著、对SDS 沉降值影响显著,风速对SDS 沉降值和Pelshenke值的影响极显著、对面筋-乳酸溶液透光率和乙酸可溶性蛋白含量影响显著,而因素间的交互作用对小麦籽粒品质的影响不显著。因此,从SDS 沉降值作为主要指标,其它品质指

标作为参考指标来考虑,小麦籽粒微波干燥的最佳工艺组合为 A₁B₃C₁。

2.2.3 不同干燥条件对能耗的影响

从试验结果来看,小麦微波干燥的能耗随着干燥功率、铺放厚度和风速的提高在增加,而风速对能耗影响最大。通过正交试验分析,得出影响小麦籽粒能耗的因素主次顺序为 C> A> B,进一步方差分析得出风速对能耗的影响极显著,干燥功率对能耗的影响显著,而铺放厚度和因素间的交互作用对能耗的影响不显著。因此,从干燥能耗最小来考虑,小麦籽粒微波干燥的最佳工艺组合为 A₁B₃C₂。

2.3 微波干燥工艺的确定

综上所述,对于发芽率、品质和能耗来说,较优的干燥工艺组合为 A_{1,2}B₃C_{1,2},关键是如何确定 A 和 C 水平,从干燥效率和能耗来看,干燥功率和风速过低,干燥速率较小,达到标准含水率,所需时间太长,能耗太大,因此选择 A₂B₃C₂ 作为最佳组合。

3 结 论

1) 微波干燥对小麦品质的影响是显著的,小麦籽粒的发芽率对干燥温度反应敏感,可作为小麦热损伤的指标。SDS 沉降值对干燥功率反应比较敏感,能表现品质优劣变化的趋势,可作为小麦品质变化的检测指标。

2) 与其它干燥方式不同,小麦微波干燥全过程分为恒速干燥和降速干燥两个阶段,物料失水过程绝大部分处于恒速阶段。因此,对于小麦微波干燥可以采用分段干燥方式,即不同干燥阶段可采用不同的加热措施。

3) 干燥功率、风速和干燥铺放厚度是小麦微波干燥的主要技术参数,它们直接影响小麦的干燥时间及干燥后的品质和能耗,其中风速对能耗影响特别显著。由试验得出:小麦微波干燥其干燥功率为 0.2 W/g,铺放厚度为 2 cm,风速为 45 m/min 时,可确保小麦干燥后的种用价值、食用价值及便于储存,而且能耗较低。

[参 考 文 献]

- [1] 陈 燕,陈羽白. 荔枝的微波干燥特性及其对品质的影响研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 192- 194.
- [2] 王 俊,王剑平,张京平,等. 微波干燥黄桃内部热质传递过程的模型[J]. 农业工程学报, 1997, 13(2): 235- 238.
- [3] 王 枚,陈璧州,伍 军,等. 微波干燥桃脯、苹果脯的影响因素和节能效果的研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 253- 255.
- [4] 杨 洲,段洁利. 微波干燥及其发展[J]. 粮油加工与食品机械, 2000, 267(3): 5- 8.
- [5] 熊永森,王 俊,王金双. 微波干制南瓜片干燥规律及工艺优化研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 180- 184.
- [6] 廖庆喜,舒彩霞,伍冬生. 微波干燥对油菜籽种用价值及品质特性的影响[J]. 农业机械学报, 2000, 31(1): 69- 71.
- [7] Wang Jun, Zhang Jinping, Wang Jianping. Modeling simultaneous heat and mass transfer for microwave drying on apple[J]. Drying Technology, 1999, 19(9): 1241- 1245.
- [8] 王 俊,金天明,许乃章. 稻谷的微波干燥特性和质热模型[J]. 中国粮油学报, 1998, 13(5): 6- 9.
- [9] Prothon F. Combined dehydration methods from fresh fruit to high-quality ingredients[J]. Swedish Institute for Food and Biotechnology, 2002, 704(3): 58.
- [10] Skulinova M. Microwave treatment and drying of germinated pea[J]. Czech Journal of Food Science, 2002, 20(1): 23- 30.
- [11] 潘永康,王喜忠. 现代干燥技术[M]. 北京:化工工业出版社, 1998: 73- 85.
- [12] 于秀荣. 微波干燥稻谷的研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1997, 18(1): 63- 67.
- [13] 朱德泉. 不同面筋类型小麦的微波干燥试验研究[J]. 包装与食品机械, 2004, 25(3): 8- 10.
- [14] 朱德泉,朱德文,王德义. 小麦和油菜种子微波干燥的试验研究[J]. 中国农机化, 2003, (3): 26- 27.
- [15] 张肇鲲. 农产品加工机械[M]. 合肥:中国科技大学出版社, 1996: 226- 229.

Experimental study on wheat grain microwave drying characteristics and its effect on the quality of wheat grain

Zhu Dequan¹, Wang Jixian^{1*}, Zhu Dewen², Zhou Jiemin¹, Shao Lushou¹, Li Bin¹

(1. College of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Nanjing 210014, China)

Abstract: In view of existing problems in the hot air drying of wheat grain, experimental study on characteristics of microwave drying of wheat grain and the influence of microwave drying conditions on the quality of wheat grain and energy consumption were conducted using home-made microwave drying and testing device by choosing different power of microwave, thickness of materials and airflow rate. The results show that the constant drying rate is the main stage of microwave drying of wheat grain, the quality indicators of wheat grain are influenced by microwave drying conditions obviously, and germination rate and SDS sedimentation volume of wheat grain are sensitive to the intensity of microwave drying. So the germination rate and the SDS sedimentation volume may be regarded as main indicators of heat injury and the quality of wheat grain. The drying energy consumption is influenced mainly by the airflow rate of microwave drying.

Key words: wheat grain; microwave drying; drying characteristics; quality