

麦胚多层多室流化床在线稳定化试验^{*}

徐斌¹ 董英¹ 吴艳博¹ 王初阳² 徐山元³

(1. 江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013; 2. 郑州精深粮食工程机械有限公司工程部, 郑州 450006;
3. 发达面粉集团有限公司生产部, 夏津 253216)

【摘要】 针对小麦胚芽快速酸败变质的特性,采用多层多室流化床装备对麦胚进行在线稳定化处理。根据麦胚的性质和实际产量要求,将改良设计的多层多室流化床装备与面粉生产线连接,并选取不同温度、风量等参数进行在线试验,研究流化床对麦胚的稳定化效果。结果表明,出风温度 45℃ 为稳定化处理麦胚的优化条件。处理后的麦胚 VE 损失 6.28%,氮溶解指数下降 1.11%,脂肪酸组成和相对含量未产生明显变化。产品经 30 d 加速贮藏,过氧化值 7.2 mmol/kg,酸价 18.47 mg/g。试验表明,该技术与装备已达到了麦胚稳定化处理的基本要求。

关键词: 麦胚 稳定化 流化床 干燥

中图分类号: TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)01-0127-05

Technology and Equipment of Stabilized Storage of Wheat Germ by On-line Multistage Fluidization Drying

Xu Bin¹ Dong Ying¹ Wu Yanbo¹ Wang Chuyang² Xu Shanyuan³

(1. School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Engineering Department, Zhengzhou Jingshen Grain Engineering Machinery Co., Ltd., Zhengzhou 450006, China

3. Productive Department, Fada Flour Group Co., Ltd., Xiajin 253216, China)

Abstract

In order to improve the stabilized storage of wheat germ (WG) and better prepare it for further processing, a fluidization drying technology is developed to solve the problem of wheat germ's acidification and deterioration. According to the WG character and the actual production, a multistage fluidized bed is designed and connected to wheat flour product line. With this equipment, temperature and airflow as major parameters are selected to test their respective influence on the wheat germ stabilization. The result shows that the optimized condition of fluidization drying is 45℃ of outlet temperature. VE loss of processed WG is 6.28%, and the decrease of NSI is 1.11%. No distinct change is observed in its fatty acid composition and relative content. After 30 days' accelerate store, peroxide value is 7.2 mmol/kg, and acid value is 18.47 mg/g. The experiment result shows that the technology and equipment developed have satisfied the demands of stabilized storage of wheat germ.

Key words Wheat germ, Stabilization, Fluidized bed, Drying

引言

小麦加工副产品小麦胚芽(麦胚)绝大部分被混入麸皮作为饲料而未被进一步开发利用的主要原

因是:麦胚是小麦籽粒中生理活性最强的部分,水分和脂肪含量高,当麦胚与小麦籽粒分离后,在高活力脂肪水解酶和脂肪氧化酶的作用下,短时间内就会使其脂肪酸值大幅度升高,引起麦胚酸败变质。因

此,麦胚快速酸败变质一直是制约麦胚精深加工产业发展的关键因素。目前,防止麦胚酸败变质的稳定化方法主要为热处理,包括干热和湿热处理^[1-3]。Ferrara 等依据麦胚的货架期与其自由巯基(-SH)含量呈负相关关系,采用蒸汽(压力 50.7~101.3 kPa)处理20~30 min,并按一定比例排放加热腔内的部分蒸汽,处理后麦胚在室温下的货架期达7~8个月^[4]。安徽东方面粉厂采用气流干燥机干燥麦胚,麦胚含水率可降至4%,稳定化效果较好^[5]。Huessy E G把145℃的热空气通入流化床中将麦胚加热到90℃左右,时间控制在5 s内,处理后的麦胚含水率低于6%,室温下可以安全贮藏100 d左右^[6]。Yundem等采用喷动床干燥技术,200℃处理麦胚6 min,其脂肪酶活力下降91.2%。处理后的麦胚放置20周,麦胚含水率、水分活度、酸价和过氧化值均没有发现明显变化^[7]。

然而,现有的湿热处理法易导致麦胚含水率升高,且设备的一次性投入较大,难以实现工业化的应用。热风干燥由于加热温度高,能耗高,且易导致热敏性物质损失,降低麦胚的营养价值;而喷动床干燥目前还无法实现连续化在线工作。由此可见,流化床干燥是麦胚稳定化处理较理想的设备。

目前使用的流化床干燥机械类型有:单层流化床干燥机、多层流化床干燥机和卧式多室流化床干燥机等^[8]。多层流化床干燥机的热利用率较单层有所提高,但物料在每层内运动无序,影响干燥均匀性。特别是采用床内溢流管将上层物料输送到下层,很容易产生堵塞或气体穿孔,破坏流化状态。卧式多室流化床干燥机虽干燥均匀,系统压降也小于多层,但热利用率比多层低,造成能源浪费。针对现有技术和装备的不足,本文根据麦胚产品特点和实际产量要求,采用改良的多层多室流化床干燥装备,进行麦胚在线稳定化试验研究,以期为该装备的进一步设计改进和麦胚在线稳定化生产工艺提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验材料

麦胚:发达面粉集团有限公司,日处理300 t小麦专用粉生产线分离的新鲜麦胚。麦胚产量15 kg/h、纯度95%。

1.1.2 主要试剂

α-VE标准品,大于等于95%,Sigma公司,色谱纯;正己烷、异丙醇为色谱纯,国药上海化学试剂有限公司;其余试剂均为分析纯。

1.1.3 主要仪器

5890型GC色谱仪,美国安捷伦公司;LC-20A型HPLC色谱仪,日本岛津公司;DHG-9245A型鼓风干燥箱,上海一恒科技有限公司;HH-S型数显恒温水浴锅,金坛市富华仪器有限公司;RE-52A型旋转蒸发仪,上海亚荣生化仪器厂;微量凯氏定氮仪,北京玻璃仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 多层多室流化床在线稳定化试验装备

多层多室流化床麦胚稳定化装备,包括多室流化床和位于其下方的空气加热器,空气加热器装在支架上,多室流化床中有若干由隔板和床面构成的流化室,多室流化床有两个,另有两个沉降箱,多室流化床与沉降箱交互上下迭加相接,如图1所示。

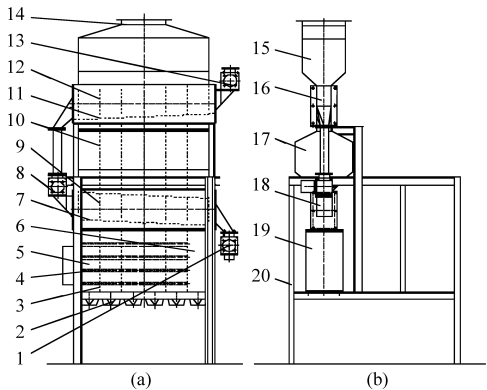


图1 麦胚在线流化床稳定化装备结构示意图

Fig.1 Structure of the fluidized bed

1. 二层溢流装置 2. 均风阀 3. 加热器隔板 4. 加热元件
5. 热风通道 6. 冷风通道 7. 二层床面 8. 床外溢流装置
9. 二层隔板 10. 沉降箱隔板 11. 一层床面 12. 一层隔板
13. 进料机构 14. 吸风口 15. 一层沉降箱 16. 一层多室流化床
17. 二层沉降箱 18. 二层多室流化床 19. 空气加热器

工作过程如下:由进料机构13在闭风状态下将湿麦胚推进一步多室流化床16,麦胚自右向左依次由间隙流动到最后一室,经床外溢流装置8进入二层多室流化床18,再自左向右经二层溢流装置1流出。在物料流动过程中,用风机进行吸风,空气经均风阀2进入空气加热器19,热风通道5中的空气被加热元件4加热后经通风孔进入二层多室流化床18,对麦胚进行干燥,冷风通道6中的空气也进入二层多室流化床,对将要流出的麦胚进行冷却,空气将麦胚吹起,形成流化状;空气继续上行进入二层沉降箱17,由于沉降箱隔板10的作用,可最大限度地保持气流稳定和冷、热空气的隔离,同时,因为二层沉降箱17的横截面积增大,风速降低,物料在重力作用下下沉与空气分离,空气继续上行进入一层多室流化床16,热风通道5中的热风二次利用,继续对物料进行干燥,冷风通道6中的冷风把二层多室流

化床中物料的热量带入对刚进入一层多室流化床 16 的麦胚进行预热,空气穿过一层多室流化床后进入一层沉降箱 15,在此与物料分离,从吸风口 14 流出^[8]。物料在机内有序的逐室横移,逐层下移,热、冷空气与麦胚逆流操作,使能源多次利用;采用床外溢流技术,使流化床工作稳定、可靠;对成品含水率进行全自动控制,确保成品水分指标,最大限度地节约能源。该设备安装在小麦面粉加工车间,并与加工生产线相配套。从高方平筛分离出的新鲜小麦胚芽,通过溜管输送,直接进入该装置,及时进行干燥及酶钝化处理,实现麦胚的在线稳定化。设备成品产量 5 ~ 10 kg/h;工作功率 1.8 ~ 11.8 kW;吸风量 750 ~ 1 500 m³/h;压力损失 1.2 ~ 2.4 kPa。

1.2.2 在线稳定化麦胚试验

打开电源开关,设定出料口温度,进行预热。当出风温度超过设定温度时,设备将自动停止加热,低于设定温度时会重新启动加热器,温度的波动幅度一般在 ±1℃ 以内。开启进料关风器,调节进风口阀门,使麦胚在流化床中呈沸腾状。开机一段时间之后,麦胚开始有序推进,且床内温度稳定。待设备运行平稳后,采集处理过的麦胚样品,自然冷却到室温,进行加速贮藏试验和其他理化指标的检测。

通过预试验,确定了合适的工作温度范围。将流化床的出风温度分别设定为 40、45、50 和 55℃,相应的进风温度分别为 95、115、135 和 155℃。出风温度低于 40℃ 时,麦胚含水率偏高,不利于麦胚的安全贮藏;出风温度高于 55℃ 时,相应的进风温度超过 155℃,将影响麦胚的感官品质。

1.2.3 麦胚加速贮藏试验

将对照组麦胚和多层多室流化床处理的麦胚用聚乙烯薄膜包装后置 38℃ 恒温箱中,每 5 d 测定一次酸价 (AV) 和过氧化值 (POV),连续观察 30 d。

1.2.4 测定方法

- (1) 含水率测定参照 GB/T5009.3—2003。
- (2) 酸价测定参照 GB/T 5530—2005。
- (3) 过氧化值测定参照 GB/T 5538—2005。
- (4) 脂肪酶活力测定参照 GB/T55232—2008。
- (5) 脂肪酸分析^[9]:GC 色谱柱为 19091N-133 毛细管柱;FID 检测器;进样温度 250℃;柱温 180℃;检测器温度 240℃;N₂ 流速 100 mL/min;H₂ 流速 40 mL/min;空气流速 350 mL/min。
- (6) VE 含量测定^[10]:HPLC 色谱柱为 Zorbax RX-SIL (5 μm, 4.6 mm × 250 mm);检测器为 UV292 nm;流动相为正己烷/异丙醇 (体积比 98.5:1.5);柱温 27℃;流速 1.1 mL/min;进样量为 10 μL。
- (7) 蛋白 NSI 测定参照 GB/T5511—2008。

(8) 感官品质评定:事先准备好新鲜麦胚和经过不同温度条件下流化床干燥处理的麦胚,要求鉴定人员根据指标设计表,对干燥的麦胚进行颜色和气味的鉴别。

2 结果与分析

2.1 多层多室流化床在线稳定化设备的性能

流化床干燥机安装在小麦制粉车间,通过溜管与面粉厂高方平筛连接,将新鲜麦胚直接引入多层、多室流化床,进行麦胚的在线稳定化。

麦胚在机内是有序的逐室横移,逐层下移,热、冷空气沿着各自通道从最下层多室流化床进入,从下到上逐层流过各层多室流化床,热、冷空气与新鲜麦胚逆流传质和传热,热能得到多次利用,小麦胚芽流动有序,成品均匀性好,同时实现了床外溢流,使得操作方便,床面工作稳定。这种多层、多室流化床在线稳定化设备,热利用率高、压损小、成品水分均匀、操作方便。

2.2 出风温度对麦胚含水率的影响

改变出风温度设定值,流化床控制系统会自动调整加热功率,通过对出风温度的调整,实现对麦胚产品含水率的控制。流化床的出风温度与麦胚含水率的关系如图 2 所示,麦胚的初始含水率为 12%,经流化床处理后的麦胚,含水率下降明显。出风温度 40℃ 时,麦胚含水率即可达到 5% 以下,出风温度 55℃ 时麦胚含水率达到 2%,说明该流化床干燥麦胚效果显著,可以达到预期目的。

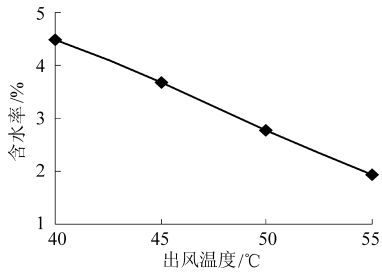


图 2 出风温度对麦胚含水率的影响曲线

Fig.2 Effect of temperature on moisture content of WG

2.3 出风温度对麦胚初始酸价的影响

如图 3 所示,随着流化床出风温度升高,麦胚的初始酸价逐渐下降,出风温度 45℃ 时,麦胚的初始酸价为 6.06 mg/g。再继续升高温度,麦胚酸价没有显著下降,变化趋于平缓,说明流化床处理对麦胚水分的调节抑制了脂肪酶的水解作用,有效控制了麦胚初始酸价变化,当麦胚的含水率降低到一定程度后,该影响变得不明显。

2.4 加速贮藏期间麦胚稳定化效果比较

麦胚酸价随出风温度的变化趋势如图 4 所示,

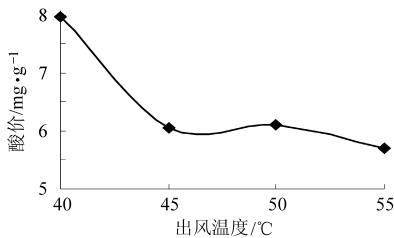


图3 出风温度对麦胚初始酸价的影响曲线
Fig.3 Effect of temperature on initial AV of WG

对照组在加速贮藏前5 d 酸价快速上升,第5 天时达到30 mg/g,第30 天时酸价达到50.27 mg/g,麦胚已经变质;出风温度40℃处理的麦胚酸价在第10 天时出现较快增长,第30 天时达到25 mg/g;出风温度45、50 和55℃处理的麦胚加速贮藏后的酸价分别为18.47、17.10 和14.08 mg/g。

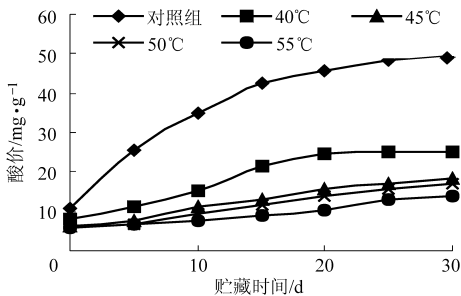


图4 出风温度对麦胚加速贮藏期间酸价影响曲线
Fig.4 Effect of temperature on AV of accelerate stored WG

麦胚过氧化值随出风湿度的上升呈下降的趋势。出风温度40、45、50 和55℃处理的麦胚,30 d 加速贮藏后分别为8.0、7.2、6.1 和5.4 mmol/kg;而未处理的对照组麦胚升至16 mmol/kg。

由此可见,随着麦胚含水率的降低,脂肪酶缺少活动媒介,活性受到抑制,减弱了对麦胚中油脂的水解作用,起到了稳定化效果。但温度过高会导致麦胚蛋白质变性,产品出现焦糊现象,影响麦胚的营养价值和感官品质。因此,麦胚出口温度最好控制在45~50℃。麦胚的脂肪酶活力随出风湿度的升高呈下降趋势。当出风温度由40℃升至55℃时,麦胚中脂肪酶的相对酶活由38.14%下降为21%。但经过30 d 的加速贮藏后,脂肪酶活动度都有不同程度的回升,尤其是含水率低的麦胚,上升幅度最大,达18.2%,这一结果与文献[11]相吻合。该结果说明干热处理并不能彻底钝化麦胚中的脂肪酶,脂肪酶是水溶性的,需水作为其活动媒介,通过流化床干燥,降低了麦胚含水率,对脂肪酶活性起到一定的抑制作用。同时表明,干热处理脂肪酶存在酶复活的现象,其原因有待进一步探讨。

2.5 流化床稳定麦胚感官评定

感官评定结果如表1 所示,随流化床物料出口

温度的升高,麦胚颜色由淡黄色逐渐加深到黄褐色,麦香味逐渐增强,但温度过高会产生焦糊味,说明适当的温度会给麦胚带来良好的感观品质,温度过高会对麦胚的感官品质不利。

表1 感官评定结果
Tab.1 Results of sensory evaluation

出风温度/℃	感观指标	
	颜色	气味
40	淡黄	麦香
45	金黄	浓郁麦香味
50	棕黄	强烈麦香味
55	黄褐	带焦味

2.6 出风温度对麦胚脂肪酸的影响

脂肪酸分析结果表明,经流化床不同出风温度干燥处理的麦胚,与对照组麦胚具有相同的主要脂肪酸种类。如表2 所示,经不同温度处理的麦胚,油酸、亚油酸和亚麻酸相对含量仅微小变化,不饱和脂肪酸含量在81.22%和81.73%之间,均位于对照组不饱和脂肪酸含量81.28%附近,说明流化床加热方式对麦胚的脂肪酸组成未产生显著影响。

表2 流化床处理麦胚脂肪酸组成
Tab.2 Fatty acid profile of WG dried by fluidized bed

出风温度/℃							%
	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	其他	多不饱和脂肪酸
40	16.75	0.67	13.10	60.52	7.60	1.36	81.22
45	16.90	0.67	13.24	60.47	7.45	1.26	81.16
50	16.81	0.68	13.71	60.45	7.57	1.31	81.73
55	16.64	0.68	13.21	60.51	7.63	1.33	81.35
对照	16.67	0.70	14.20	59.65	7.43	1.36	81.28

2.7 出风温度对麦胚中VE 的影响

VE 是热敏性物质,长时高温加热会加速VE 的氧化损失。分析结果表明,随着出风温度升高,麦胚中VE 损失逐渐增大。当流化床出风温度由45℃升高到50℃时,VE 损失率由6.28%增加到13%左右,说明该温度范围的变化对麦胚中VE 的影响较大。因此,选取45℃作为出风温度控制指标,即相应的流化床进风温度为115℃。

VE 损失可能有两个原因:一是加热使麦胚油中饱和脂肪酸降解和不饱和脂肪酸氧化同时发生,麦胚油中游离羟基和过氧化物增加,VE 分子苯环上的羟基与之结合成酯;二是VE 分子苯环基基等极性基团,在高温作用下可能会加剧其结构的降解。HPLC 图谱也验证了上述原因,在α-VE 色谱峰之后

出现一个小色谱峰,对照组分离效果较好,经稳定化处理后变得不容易分离,推测可能为 VE 与其他物质结合后的化合物。

2.8 流化床处理对麦胚 NSI 的影响

出风温度为 45℃ 条件下处理的麦胚,氮溶解指数为 48.27%,稍低于对照组麦胚的氮溶解指数 49.38%,说明合适温度的流化床干燥处理对麦胚蛋白的影响不大。

3 结论

(1) 采用改良的多层多室流化床稳定化麦胚的优化工艺参数为:出风温度 45℃,相应的进风温度 115℃。经稳定化处理的麦胚脂肪酸组成和相对含

量未产生明显变化,VE 损失 6.28%,氮溶解指数下降了 1.11%,较好地保持了麦胚的营养品质。经过 30 d 的加速贮藏试验,其酸价为 18.47 mg/g,过氧化值为 7.2 mmol/kg,脂肪酶相对酶活为 44.5%,稳定化效果较好。

(2) 经稳定化处理的麦胚料堆松散,颜色金黄,具有麦香味,麦胚感观品质明显改善,在室温条件下,经真空包装的干燥麦胚可安全贮藏 6 个月以上,该技术与装备已达到了麦胚稳定化处理的基本要求。

(3) 该装备与日处理 300 t 小麦专用粉生产线相匹配,能够对新鲜麦胚立即进行在线干燥和酶钝化。

参 考 文 献

1 Srivastava A K, Sudha M L, Baskaran V. Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough[J]. European Food Research and Technology,2007, 224(3):365~372.

2 Sudha M L, Srivastava A K, Leelavathi K. Studies on pasting and structural characteristics of thermally treated wheat germ [J]. European Food Research and Technology,2007,225(3~4):351~357.

3 Galle K L. Process for producing milled stabilized wheat germ; U. S. ,3783164[P]. 1974-01-01.

4 Ferrara P J. Method of producing shelf stable wheat germ; U. S. ,5063079[P]. 1991-11-05.

5 杨芳伟. 浅谈小麦胚的储藏[J]. 面粉通讯,2006(2):43~45.
Yang Fangwei. Study on the stabilized storage methods of wheat germ[J]. Flour Milling, 2006(2):43~45. (in Chinese)

6 Huessy E G. Processing of wheat germ to retard rancidification; U. S. , 3895121[P]. 1975-07-15.

7 Yondem-Makascioglu F,Gurun R,Dik T, et al. Use of a spouted bed to improve the storage stability of wheat germ followed in paper and polyethylene packages[J]. Journal of Food and Agriculture, 2005, 85(8): 1 329~1 336.

8 王初阳. 多层、多室流化床干燥机:中国, 200520030900.7[P]. 2005-06-07.
Wang Chuyang. Multistage fluidization drying:CN, 200520030900.07[P]. 2005-06-07. (in Chinese)

9 唐小俊,池建伟,张名位,等. 苦瓜的微波灭酶技术[J]. 农业机械学报,2008, 39(4):200~203.
Tang Xiaojun, Chi Jianwei, Zhang Mingwei, et al. Study on the microwave technology for passivate enzyme of *Momordica Charantia* L. [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(4):200~203. (in Chinese)

10 Carpenter A P. Determination of tocopherols in vegetable oils[J]. JAOCS,1979, 56(7): 668~671.

11 唐云. 小麦胚的稳定化及酶解稳定化小麦胚生产高营养麦胚饮料的研究[D]. 无锡:江南大学,2001.
Tang Yun. Study on the stabilization of wheat germ and investigate the production of nutritious wheat germ drink by enzymatic hydrolysis[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2001.

12 徐斌,董英,吴艳博. 小麦胚芽的微波在线稳定化试验[J]. 农业机械学报,2009,40(8):134~138.
Xu Bin, Dong Ying, Wu Yanbo. Study on technology of stabilized storage of wheat germ by on-line microwave processing [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(8):134~138. (in Chinese)