

不同处理技术对小麦胚芽钝酶效果及贮藏稳定性的影响

Effects of different technologies on enzyme deactivation and storage stability of wheat germs

张楠 石琳 孟继坤 葛鑫会

ZHANG Nan SHI Lin MENG Ji-kun GE Xin-hui

程永强 张秀清

CHENG Yong-qiang ZHANG Xiu-qing

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

摘要:目的:采用 3 种不同处理技术对小麦胚芽进行稳定化处理,以获得最优的小麦胚芽钝化技术及处理条件。方法:选用微波、过热蒸汽、热风干燥 3 种技术对小麦胚芽进行酶钝化处理,比较其对小麦胚芽中脂肪酶、脂肪氧化酶的影响,随后选取其中较优处理条件进行菌落总数的测定和加速贮藏试验。结果:3 种技术在最优处理条件下均能够有效地对小麦胚芽中的脂肪酶、脂肪氧化酶起到钝化作用,其中过热蒸汽技术灭活脂肪酶效果最佳,灭活率达到 82.79%;微波技术灭活脂肪氧化酶效果最佳,灭活率为 94.81%;过热蒸汽技术灭菌效果最佳,使菌落总数下降至 2.20 lg(CFU/g);贮藏稳定性方面,微波和过热蒸汽技术效果相近,显著优于热风干燥技术效果。结论:综合来看,过热蒸汽技术可作为小麦胚芽钝化处理的优选技术。

关键词:小麦胚芽;微波;过热蒸汽;热风干燥;脂肪酶;脂肪氧化酶;贮藏稳定性

Abstract: Objective: To obtain the best technology and treatment conditions of wheat germs stablization, three different technologies were used to treat wheat germs. **Methods:** Microwave, superheated steam and hot air drying were used to treat wheat germs with enzyme deactivation, and their deactivation effects on lipase and lipoxigenase in wheat germs were compared. Then, the optimal treatment conditions of each technology were

selected for the determination of total number of colonies and accelerated storage test. **Results:** Under the optimal treatment conditions, the lipase and lipoxigenase in wheat germs could be effectively deactivated by the three treatments. The superheated steam treatment had the best effect of deactivating lipase, and the deactivation rate reached 82.79%. The deactivation rate of lipoxigenase was 94.81% when the wheat germs were treated with microwave. Superheated steam treatment had the best sterilization effect, and the total number of colonies decreased to 2.20 lg (CFU/g). In terms of storage stability, microwave and superheated steam treatment had similar effects, while hot-air drying treatment had poor effect. **Conclusion:** Superheated steam treatment could be the best methods for wheat germs deactivation.

Keywords: wheat germs; microwave; superheated steam; hot air drying; lipase; lipoxigenase; storage stability

小麦胚芽是小麦制粉过程中的副产品,是蛋白质、脂类、碳水化合物和其他生物活性物质的极佳营养来源^[1]。其脂肪含量较高,且脂肪酶和脂肪氧化酶具有很高的活性。小麦胚芽从小麦中分离出来后,若不快速对酶系统进行灭活,脂肪酶会将脂肪分解成脂肪酸,脂肪酸又会在脂肪氧化酶的存在下氧化成氢过氧化物,导致小麦胚芽的营养及感官品质下降^[2],对小麦胚芽中的脂肪酶与脂肪氧化酶进行钝化处理是对其开发利用的前提。

微波通过物料中的极性分子将交变电磁场能量转化为热能,达到对物料加热的目的。微波具有穿透性强、加热速度快、热效率高等优点,在食品工业中得到了大范围推广应用^[3-5]。过热蒸汽是指对饱和蒸汽继续加热后产生的温度高于饱和温度的水蒸气,该技术具有加热速度

基金项目:国家十三五重点研发项目(编号:2018YFD0401005)

作者简介:张楠,女,中国农业大学在读硕士研究生。

通信作者:张秀清(1976—),女,中国农业大学副教授,博士。

E-mail: xiuqingzhang@cau.edu.cn

收稿日期:2021-06-04

快、脱油、受热均匀等优点,在食品烹饪、干燥和加工等方面的应用越来越广泛^[6-8]。热风干燥技术是对空气进行加热后将其引进干燥室,以热空气为干燥介质将物料中水分汽化。热风干燥是目前中国运用最广泛的谷物干燥技术,近年来热风干燥对稻谷加工品质和贮藏特性影响的相关研究较多^[9-10]。

试验拟以小麦胚芽为原料,选用微波、过热蒸汽、热风干燥3种技术对小麦胚芽进行酶钝化处理,比较其对小麦胚芽中脂肪酶、脂肪氧化酶的影响,随后选取其中较优处理条件进行菌落总数的测定和加速贮藏试验,旨在获得最优的小麦胚芽钝化技术及处理条件。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

小麦胚芽:原料出厂后立即放置在密封袋中于一18℃冰箱保存,山东永乐食品有限公司;

橄榄油、亚油酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾:分析纯,西陇化工股份有限公司;

氢氧化钠、盐酸、无水乙醚、吐温-20:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

微波炉:WG700CTL2011-K6型,广东格兰仕集团有限公司;

恒温恒湿培养箱:HWS智能型,宁波江南仪器厂;

过热蒸汽烤箱:350 Steam DC oven型,日本NAO-MOTO公司;

电热鼓风干燥箱:DHG-9070A型,上海一恒科学仪器有限公司;

恒温培养箱:HZQ-X100型,太仓市实验设备厂;

高速冷冻离心机:GL-208型,上海安亭科学仪器;

紫外可见分光光度计:T6新世纪型,北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 试验方法

1.2.1 小麦胚芽钝化处理方式及条件

(1)微波处理:投料量为30g,将其铺成1cm左右厚,分别以140,280,420,560,700W的功率处理1,2,3,4,5min,处理时每分钟翻搅一次,共25组样品。

(2)过热蒸汽处理:投料量为30g,将其铺成1cm左右厚,分别以190,200,210,220℃的过热蒸汽处理1,2,3,4,5min,共20组样品。

(3)热风干燥处理:投料量为30g,将其铺成1cm左右厚,分别以80,100,120,140℃处理30,40,50,60,80min,共20组样品。

1.2.2 脂肪酶活性测定 按GB/T 5523—2008《粮油检验 粮食、油料的脂肪酶活动度的测定》执行,以中和1g

试样(干基)中生成的游离脂肪酸所消耗的氢氧化钾的毫克数表示。

1.2.3 脂肪氧化酶活性测定

(1)底物制备:将0.12mL的Tween-20加入到2.5mL磷酸盐缓冲液中(pH 7.0,0.05mol/L),逐滴缓慢加入0.1mL亚油酸,随后逐滴加入少量1mol/L NaOH至溶液澄清,调至pH为9.0后定容至50mL,放置在4℃冰箱避光冷藏备用。

(2)粗酶液提取:小麦胚芽磨粉,称取0.5g,加入5mL磷酸缓冲液(pH 7.0,0.05mol/L)搅拌提取30min,随后将提取液于4℃以8000r/min离心15min,取上清稀释20倍。

(3)测定步骤:取2mL磷酸缓冲液(pH 7.0,0.05mol/L)、200μL底物溶液和50μL粗酶液快速振荡混合均匀,立即在234nm下比色,每隔15s测定一次吸光值,至吸光度呈线性趋势,计算此线性范围内每1min吸光值的变化,脂肪氧化酶相对酶活(%)为处理组与对照组线性范围内每1min吸光值的变化之比。

1.2.4 菌落总数测定 按GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》进行测定。

1.2.5 加速贮藏试验 将样品放入铝箔袋中密封,放入40℃恒温恒湿箱中保存28d,每7d测定一次样品中的脂肪酸值。

1.2.6 脂肪酸值测定 按GB 15684—2015《谷物碾磨制品 脂肪酸值》执行,以0.05mol/L KOH消耗量计。

1.2.7 数据统计与处理 所有数据均由3次平行试验获得,数据统计和处理均使用Microsoft Excel 2018软件,由平均值±标准差表示;数据分析采用IBM SPSS Statistics软件;试验结果作图采用Origin 2019软件。

2 结果与分析

2.1 微波处理对小麦胚芽内源酶活性的影响

2.1.1 对脂肪酶的影响 微波处理可以对小麦胚芽的脂肪酶起到灭活作用(见图1)。在140W的功率下,随着时间的延长,脂肪酶酶活下降缓慢,并维持在原酶活的80%左右,而280W以上的功率使脂肪酶活在处理1min时急剧下降,之后酶活下降减缓,此时微波功率是限制麦胚中脂肪酶活的主要因素。在420,560,720W的微波功率下处理2min可使麦胚脂肪酶活降至50%以下。微波560W处理4min及700W处理3min时,小麦胚芽出现严重焦糊,基本性状发生剧烈改变,不具备商品性。微波处理时温度场和电磁场共同作用于物料,破坏了脂肪酶蛋白质结构,使其失活^[11]。当微波处理时间超过2min后脂肪酶活下降速率趋势减缓,可能是由于随着微波处理时间继续延长,小麦胚芽中自由水含量不断减少,导致其吸收微波能力下降^[12]。

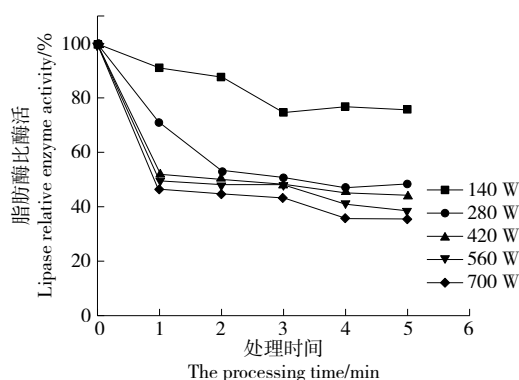


图 1 微波处理条件对小麦胚芽脂肪酶的影响

Figure 1 Effects of microwave treatment conditions on wheat germs lipase

2.1.2 对脂肪氧化酶的影响 微波处理对小麦胚芽脂肪氧化酶的灭活效果显著(见图 2)。随着微波功率及处理时间的增加,小麦胚芽中的脂肪氧化酶活性呈下降趋势。微波功率在 560 W 以上处理 2 min 可使麦胚脂肪氧化酶活降至 10% 以下。相比于脂肪酶而言,脂肪氧化酶灭活速率及灭酶效果较优,与 Vetrimani 等^[13]和 Satou 等^[14]的研究结果相一致,脂肪氧化酶的热敏性较强,而脂肪酶具有一定的耐热性。

微波低功率 140 W 处理 1 min 时,脂肪氧化酶活呈上升趋势,张玉荣等^[15]对小麦胚芽微波稳定化时出现类似现象,孟祥河等^[16]在微波灭活果泥酶时也检测到多酚氧化酶活性的上升。分析原因是在此处理强度下细胞膜破裂使细胞中的酶与底物充分接触,同时低强度的处理条件未导致蛋白质变性。

稳定化小麦胚芽的最优处理条件应在不破坏小麦胚芽性状的前提下进行选取,560 W 功率处理 2 min、560 W 功率处理 3 min 以及 700 W 功率处理 2 min 可以有效灭活脂肪酶和脂肪氧化酶,同时小麦胚芽未出现焦糊现象,故选取这 3 个处理条件进行后续研究。

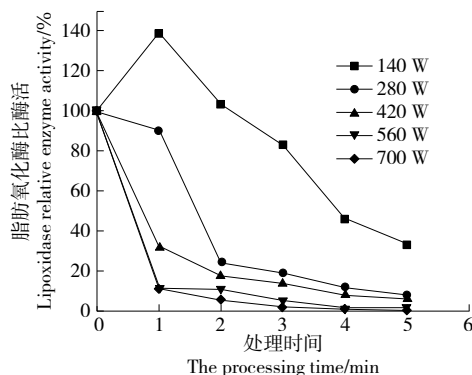


图 2 微波处理条件对小麦胚芽脂肪氧化酶的影响

Figure 2 Effects of microwave treatment conditions on wheat germs lipoxigenase

2.2 过热蒸汽处理对小麦胚芽内源酶活性的影响

2.2.1 对脂肪酶的影响 过热蒸汽处理对小麦胚芽脂肪酶的灭活效果显著(见图 3)。过热蒸汽的传热模式为对流传热,水蒸气的传热效率高且对麦胚的穿透效果好,温度在 190 °C 以上的过热蒸汽产生的热效应可迅速有效地灭活麦胚中大部分的脂肪酶。过热蒸汽处理时,温度会迅速从物料表面传至内部,而且温度与湿度能快速达到平衡,使麦胚中的脂肪酶活性迅速下降,当处理 30 s 后的钝化效果趋于稳定。

过热蒸汽对小麦胚芽脂肪酶的最优钝化效果明显好于微波,190 °C 过热蒸汽处理 50 s 及 200 °C 过热蒸汽处理 30 s 可使脂肪酶活降至 30% 以下。由于过热蒸汽处理温度较高且小麦胚芽属热敏感物料,经 200 °C 以上的过热蒸汽处理 40 s 时,小麦胚芽出现了焦糊现象。

2.2.2 对脂肪氧化酶的影响 过热蒸汽处理可以对小麦胚芽的脂肪氧化酶起到灭活作用(见图 4)。190 °C 过热蒸汽处理 20 s 可使脂肪氧化酶活性降至 30% 以下。用 200 °C 以上的温度处理小麦胚芽,随着处理时间的延长,脂肪氧化酶活性先下降而后趋于平稳,处理 30 s 后的钝

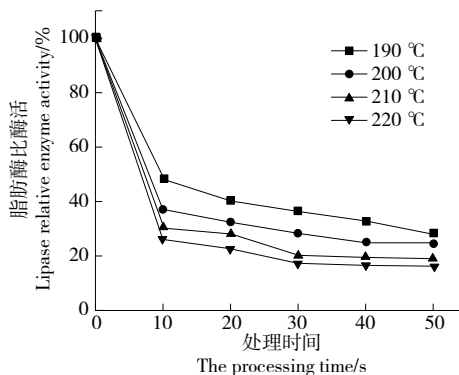


图 3 过热蒸汽处理条件对小麦胚芽脂肪酶的影响

Figure 3 Effects of superheated steam treatment conditions on wheat germs lipase

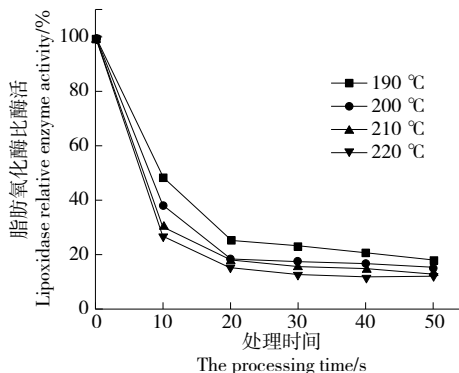


图 4 过热蒸汽处理条件对小麦胚芽脂肪氧化酶的影响

Figure 4 Effects of superheated steam treatment conditions on wheat germs lipoxigenase

化效果达到稳定,不同温度处理的脂肪氧化酶效果相近,说明此时过热蒸汽的灭酶效果达到最佳水平,继续加热麦胚逐渐出现焦糊现象,故停止继续加大强度。综合脂肪酶和脂肪氧化酶灭活效果以及小麦胚芽的外观状态,选用过热蒸汽处理温度 210,220 ℃,处理时间 30 s 进行后续试验。

2.3 热风干燥处理对小麦胚芽内源酶活性的影响

2.3.1 对脂肪酶的影响 热风干燥处理对小麦胚芽脂肪酶的灭活效果不佳(见图 5)。脂肪酶具有一定耐热性,在 80 ℃和 100 ℃的处理温度下,麦胚中脂肪酶的活性随时间变化缓慢,处理 1 h 后仍保留 90% 的活性,温度在 100 ℃以下产生的热效应不足以灭活麦胚中大部分的脂肪酶。

在 120 ℃和 140 ℃下,随着处理时间的延长,脂肪酶活性先下降后趋于平稳,处理 60 min 后钝化效果趋于稳定,此时温度是钝化相关酶的关键。120 ℃处理 60 min 及 140 ℃处理 50 min 可使麦胚脂肪酶活降至 70% 以下,但处理过长时间使麦胚出现了不同程度的焦糊。

热风干燥对脂肪酶灭活效果低于微波和过热蒸汽技术。处理 50 min 脂肪酶活性仅下降 30%,而其他两种技术在 3 min 内已表现出了较好的灭酶潜力。这可能是由于热风干燥的传热方式为对流传热,传热效率较低^[17]。

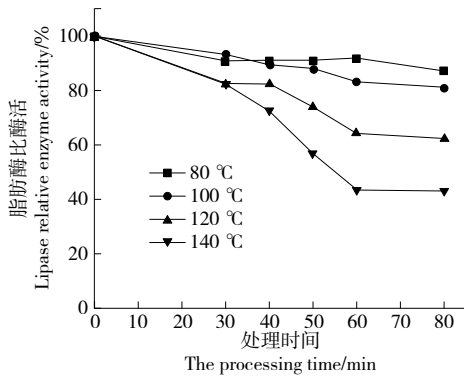


图 5 热风干燥处理条件对小麦胚芽脂肪酶的影响

Figure 5 Effects of heated-air drying treatment conditions on wheat germs lipase

2.3.2 对脂肪氧化酶的影响 热风干燥处理可以对小麦胚芽的脂肪氧化酶起到灭活作用(见图 6)。随着处理强度的增大,脂肪氧化酶活性均呈下降趋势,在 120 ℃和 140 ℃处理组中的灭活效果较为明显,120 ℃的热风干燥处理 50 min 和 140 ℃过热蒸汽处理 40 min 可使麦胚脂肪氧化酶活性降至 20% 以下。考虑到脂肪酶和脂肪氧化酶的灭活情况以及小麦胚芽的外观状态,选取 120 ℃热风干燥 60 min 和 140 ℃热风干燥 50 min 进行后续试验。

2.4 处理技术对小麦胚芽菌落总数的影响

不同处理技术均能有效降低麦胚的菌落总数(见表 1)。

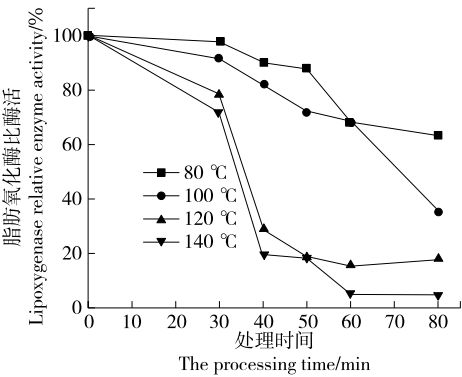


图 6 热风干燥处理条件对小麦胚芽脂肪氧化酶的影响
Figure 6 Effects of heated-air drying treatment conditions on wheat germs lipoxigenase

过热蒸汽技术杀菌效果最好,菌落总数下降至 2.20 lg(CFU/g),210 ℃与 220 ℃的过热蒸汽处理减菌效果无显著差异($P>0.05$)。实际生产中细菌主要分布在麦胚表面,过热蒸汽对其进行瞬时处理的杀菌效果更佳^[18],过热蒸汽与待杀菌样品直接接触,释放出潜热不可逆地破坏了样品中的酶和结构蛋白,从而杀灭微生物^[19]。

微波处理表现出较好的杀菌效果,经 700 W 处理 2 min 后的麦胚的菌落总数最低,下降至 2.33 lg(CFU/g)。这是由于微波处理过程中,除了热效应外,还存在非热效应,可破坏微生物的细胞结构^[20]。

热风干燥相比其他两种技术而言,杀菌效果最差且杀菌时间最长,高温空气是依靠对流传热来加热食品的,食品升温慢,食品表面不形成凝结水,也无凝结热。

2.5 处理技术对小麦胚芽脂肪酸值的影响

为了验证不同钝化技术能否有效抑制贮藏期间小麦胚芽腐败变质,对各技术较优条件处理后的小麦胚芽进行了为期 28 d 的 40 ℃加速贮藏试验,通过脂肪酸值的变化判断麦胚是否发生了酸败。不同处理均可有效延缓小麦胚芽酸败变质(见图 7)。

表 1 不同技术处理下小麦胚芽的菌落总数

Table 1 Total colony number of wheat germs under different treatments

处理方式	菌落总数/ $\lg(\text{CFU} \cdot \text{g}^{-1})$
对照	5.21 ± 0.50
微波 560 W 2 min	2.85 ± 0.12
微波 560 W 3 min	2.53 ± 0.09
微波 700 W 2 min	2.33 ± 0.05
过热蒸汽 210 ℃ 30 s	2.20 ± 0.09
过热蒸汽 220 ℃ 30 s	2.20 ± 0.05
热风干燥 120 ℃ 60 min	2.91 ± 0.08
热风干燥 140 ℃ 50 min	2.59 ± 0.03

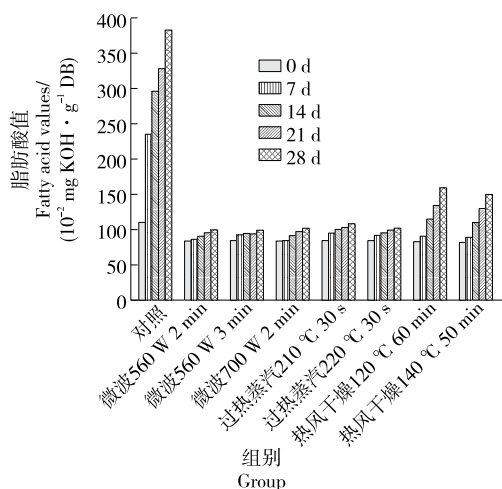


图7 不同方式处理小麦胚芽在 37 °C 下贮藏 4 周内脂肪酸值的变化

Figure 7 Changes of fatty acid values in wheat germs treated with different methods during 4 weeks of storage at 37 °C

从 0 d 的脂肪酸值可以看出,经过钝化处理的小麦胚芽中脂肪酸值显著降低 ($P < 0.05$),与左青等^[21]和刘焱峰等^[22]的研究结果相符,原因可能是在钝化过程中,小麦胚芽中的淀粉、蛋白质结构发生破坏,从而与游离的脂肪发生反应,生成络合物。

在 28 d 的贮藏中,未进行钝化处理的小麦胚芽脂肪酸含量迅速增加,从 110.23 mg KOH/100 g DB 升至 421.04 mg KOH/100 g DB,在贮藏之初便超出了 LS/T 3210—1993 所规定的小麦胚芽脂肪酸值 (≤ 140 mg KOH/100 g DB) 标准。微波处理、过热蒸汽和热风干燥处理后的小麦胚芽在贮藏 28 d 内的脂肪酸值变化均变缓,除热风干燥外,贮藏 28 d 后的脂肪酸值低于 140 mg KOH/100 g DB。脂肪酸值的上升程度反映出不同处理条件下的小麦胚芽贮藏稳定性,微波与过热蒸汽处理的稳定性相近,优于热风干燥处理。经热风干燥的原料,在前 14 d 的加速贮藏期内,酸值上升较缓慢,14 d 之后酸值出现快速上升趋势,说明热风干燥处理只能在短时间内抑制酶活,贮藏期间会发生酶复活现象,使酸值快速上升,导致麦胚变质。

在酶钝化效果及提高贮藏稳定性方面,微波处理和过热蒸汽处理效果显著优于热风干燥。微波强穿透性的辐射传热模式辅以非热效应,可快速有效降低麦胚的脂肪酶活从而使小麦胚芽得以长期贮藏。过热蒸汽具有脱油效果,除对流传热外,蒸汽凝结时释放出大量热量且具有在低温部位优先凝结的特性,可抑制加热不均匀现象发生^[23-25]。热风干燥相比其他两种方式而言,传热速度最慢且钝化时间最长,虽表现出一定的钝化效果,但贮藏期间会发生酶复活现象使酸值快速上升。

3 结论

在适宜的条件下,微波、过热蒸汽、热风干燥 3 种技术均能够有效地钝化小麦胚芽中的脂肪酶和脂肪氧化酶,其中过热蒸汽技术灭活脂肪酶效果最佳,灭活率达到 82.79%;微波技术灭活脂肪氧化酶效果最佳,灭活率为 94.81%;过热蒸汽技术灭菌效果最佳,使菌落总数下降至 2.20 lg(CFU/g);贮藏稳定性方面,微波和过热蒸汽技术效果相近,显著优于热风干燥技术效果。

过热蒸汽处理传热效率高、物料受热均匀、钝酶杀菌效果较好,是小麦胚芽钝化处理的优选技术。在处理温度 220 °C,处理时间 30 s 的条件下,小麦胚芽中的脂肪酶相对酶活可降至 17.21%,脂肪氧化酶相对酶活可降至 13.00%,在 40 °C 下贮藏 28 d 后脂肪酸值仅上升了 16.57 mg KOH/100 g DB。

稳定化技术要求既能延长麦胚贮藏期限,又使麦胚中营养成分损失降到最低。不同处理技术对麦胚的营养物质、理化性质与风味的影响可作为后续研究的方向。

参考文献

- [1] YUN L, LI D, YANG L, et al. Hot water extraction and artificial simulated gastrointestinal digestion of wheat germ polysaccharide[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 123(2): 174-181.
- [2] GILI R D, PALAVECINO P M, PENCINI M C, et al. Wheat germ stabilization by infrared radiation[J]. Journal of Food Science & Technology, 2017, 54(1): 1-11.
- [3] 郭轩宇, 侯恒亮, 路建强, 等. 米糠热稳定化技术的研究进展[J]. 现代面粉工业, 2020, 34(3): 26-29.
GUO Xuan-yu, HOU Heng-liang, LU Jian-qiang, et al. Research progress on stabilization technology of rice bran[J]. Modern Flour Milling Industry, 2020, 34(3): 26-29.
- [4] 任国宝, 邹美丽, 陈佳佳, 等. 微波辐照稳定化处理小麦籽粒及其品质变化的研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 7-11.
REN Guo-bao, HUAN Mei-li, CHEN Jia-jia, et al. Study on microwave irradiation stabilization of wheat grain and its quality change[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 7-11.
- [5] 王君茹, 林江涛, 苏东民. 微波辐射稳定化小麦胚芽技术研究[J]. 粮食加工, 2017, 42(3): 11-14.
WANG Jun-ru, LIN Jiang-tao, SU Dong-min. Study on stabilizing wheat germ by microwave radiation[J]. Food Processing, 2017, 42(3): 11-14.
- [6] 陈宇. 常压过热水蒸汽在食品加工中的应用[J]. 食品与机械, 2001, 17(8): 6-7.
CHEN Yu. Application of overheated steam under normal pressure in food processing[J]. Food & Machinery, 2001, 17(8): 6-7.
- [7] 白丽青, 马晓建. 过热蒸汽干燥及其在食品干燥中的应用[J]. 农机化研究, 2008(9): 158-161.
BAI Li-qing, MA Xiao-jian. Superheated steam drying and the study of its application in food drying[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(9): 158-161.

- [8] KONDOJOYAN A, PORTANGUEN S. Effect of superheated steam on the inactivation of *Listeria innocua* surface inoculated onto chicken skin[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 87(2): 162-167.
- [9] 杨志成, 张燕彦, 潘丹杰, 等. 自然干燥和热风干燥对籼稻陈化过程中储藏品质的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(6): 212-217.
YANG Zhi-cheng, ZHANG Zheng-yan, PAN Dan-jie, et al. Effect of natural drying and hot air drying on storage quality of indica rice in accelerated aging[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(6): 212-217.
- [10] 尹晓峰, 杨明金, 李光林, 等. 稻谷薄层热风干燥工艺优化及数学模型拟合[J]. *食品科学*, 2017, 38(8): 198-205.
YIN Xiao-feng, YANG Ming-jin, LI Guang-lin, et al. Optimization and mathematical modeling of thin layer hot-air drying of rough rice[J]. *Food Science*, 2017, 38(8): 198-205.
- [11] XU Bin, ZHOU Shi-long, MIAO Wen-juan, et al. Study on the stabilization effect of continuous microwave on wheat germ[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 117(1): 1-7.
- [12] 朱松, 宋善武, 李进伟, 等. 胚芽米微波灭酶工艺[J]. *食品与生物技术学报*, 2018, 37(6): 603-609.
ZHU Song, SONG Shan-wu, LI Jin-wei, et al. Study on the technology of inactive enzyme in embryo-remaining rice by microwave[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2018, 37(6): 603-609.
- [13] VETRIMANI R, JYOTHIRMAYI N, HARIDAS Rao P, et al. Inactivation of lipase and lipoxigenase in cereal bran, germ and soy-bean by microwave treatment[J]. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 1992, 25(6): 532-535.
- [14] SATOU K, TAKAHASHI Y, YOSHII Y. Effect of superheated steam treatment on enzymes related to lipid oxidation of brown rice[J]. *Food science and Technology Research*, 2010, 16(1): 93-97.
- [15] 张玉荣, 周显青, 果玉茹. 小麦胚微波灭酶工艺参数研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2008, 29(2): 7-10.
ZHANG Yu-rong, ZHOU Xian-qing, GUO Yu-ru. Study on the technological parameters of deactivating enzyme in wheat germ by microwave [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2008, 29(2): 7-10.
- [16] 孟祥河, 周轶. 微波加热对果泥 PPO, POD 活力的影响[J]. *应用科技*, 2000, 27(2): 30-32.
MENG Xiang-he, ZHOU Kai. Effect of microwave heating on PPO and POD activity of fruit puree [J]. *Applied Science and Technology*, 2000, 27(2): 30-32.
- [17] RODCHUAJEEN K, NIAMNUY C, CHARUNUCH C, et al. Stabilization of rice bran via different moving-bed drying methods[J]. *Drying technology*, 2016, 34(15): 1 854-1 867.
- [18] 侯成立, 赵梦雅, 吴立国, 等. 过热蒸汽对调理羊肉减菌效果的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2018, 36(4): 76-81.
HOU Cheng-li, ZHAO Meng-ya, WU Li-guo, et al. Effect of superheated on reducing bacteria in prepared lamb[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 36(4): 76-81.
- [19] 张康逸, 宋范范, 杨妍, 等. 过热蒸汽处理对青麦仁的减菌效果及品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(12): 216-220, 28.
ZHANG Kang-yi, SONG Fan-fan, YANG Yan, et al. Effect of superheated steam treatment on bacteria-reducing and quality of green wheat berry[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(12): 216-220, 28.
- [20] 聂梅梅, 肖亚冬, 张钟元, 等. 真空微波干燥中微波强度对胡萝卜和南瓜中类胡萝卜素生物利用率的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(13): 74-79.
NIE Mei-mei, XIAO Ya-dong, ZHANG Zhong-yuan, et al. Effect of microwave intensity on carotenoid bioavailability in carrot and pumpkin during microwave vacuum drying[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(13): 74-79.
- [21] 左青, 钱胜峰, 彭伟城, 等. 米糠稳定化技术和米糠功能性应用[J]. *粮食与食品工业*, 2019, 26(1): 5-9.
ZUO Qing, QIAN Sheng-feng, PENG Wei-cheng, et al. Application on rice bran stability technology and rice bran functionality[J]. *Cereal and Food Industry*, 2019, 26(1): 5-9.
- [22] 刘焱峰, 顾祥明, 邴永晋, 等. 烘干温度对玉米脂肪酸值的影响[J]. *粮油仓储科技通讯*, 2008(1): 49-50.
LIU Yan-feng, GU Xiang-ming, BING Yong-jin, et al. Effect of drying temperature on fatty acid value of maize[J]. *Communication of Grain and Oil Storage Technology*, 2008(1): 49-50.
- [23] 胡宏海, 张泓, 张雪. 过热蒸汽在肉类调理食品加工中的应用研究[J]. *肉类研究*, 2013, 27(7): 48-52.
HU Hong-hai, ZHANG Hong, ZHANG Xue. Research and application of superheated steam in prepared meat food processing[J]. *Meat Research*, 2013, 27(7): 48-52.
- [24] KADOMA T, KISHIMOTO T, TANAKA M, et al. Development of healthy cooking technology with superheated steam[J]. *Journal of Cookery Science of Japan*, 2006, 39(2): 163-166.
- [25] ABE T, MIYASHITA K. Surface sterilization of dried fishery products in superheated steam and hot air[J]. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 2006, 53(7): 373-379.

(上接第 15 页)

- [21] LAGOE C. The NuVal nutritional scoring system: An application of the theory of reasoned action to explain purchasing behaviors of health-promoting products [C]// National Conference on Health Communication, Marketing and Media 2010 Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, GA: Government Administration, 2010: 21-45.
- [22] WOODBURY N J, GEORGE V A. A comparison of the nutritional quality of organic and conventional ready-to-eat breakfast cereals based on NuVal scores [J]. *Public Health Nutrition-Cab International*, 2014, 17(7): 1 454-1 458.
- [23] Guiding Stars Licensing Company. Guiding stars[EB/OL]. (2020-02-10)[2020-12-11]. <https://guidingstars.com/>.
- [24] American Heart Association. Heart-check mark[EB/OL]. (2020-12-10)[2021-01-19]. <https://www.heartcheckmark.org>.
- [25] Choices International Foundation. Choices Programme[EB/OL]. (2014-01-06)[2021-02-07]. <https://www.choicesprogramme.org/our-work/nutrition-criteria/>.