

小麦胚芽的过热蒸汽稳定化工艺研究

Study on the process of superheated steam stabilization of wheat germs

张楠 葛鑫会 石琳 程永强 张秀清

ZHANG Nan GE Xin-hui SHI Lin 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:提高小麦胚芽稳定性,延长其贮藏期。方法:采用正交试验优化过热蒸汽处理小麦胚芽的工艺条件并进行验证,分析过热蒸汽处理对小麦胚芽色泽、贮藏过程中脂肪酶活动度、游离脂肪酸的影响。结果:过热蒸汽处理的最优工艺条件为 220 °C、Steam 档位处理 30 s,该条件下可以灭活小麦胚芽中 82.74% 脂肪酶和 87.03% 脂肪氧化酶,28 d 加速贮藏试验显示其脂肪酸值增加量显著低于未处理组($P < 0.05$),降低了 47.86%。结论:过热蒸汽处理小麦胚芽可以有效钝化脂肪酶和脂肪氧化酶活性,抑制其酸败变质,提高贮藏稳定性。

关键词:过热蒸汽;小麦胚芽;稳定化;脂肪酶;脂肪氧化酶

Abstract: Objective: To improve the stability of wheat germs and prolong its storage period. **Methods:** The process conditions of superheated steam were optimized. During storage, the effects of superheated steam treatment on wheat germs color, lipase activity, and free fatty acid content during storage were analyzed. **Results:** The optimal conditions of superheated steam on wheat germs were 220 °C at Steam mode for 30 s. The superheated steam treatment could deactivate 82.74% lipase and 87.03% lipoxigenase. The 28-day accelerated storage experiment showed that the fatty acid content increase in wheat germs decreased by 47.86% compared with the control group. **Conclusion:** Superheated steam treatment of wheat germs could inhibit their rancidity and improve storage stability.

Keywords: superheated steam; wheat germ; stabilization; lipase; lipoxigenase

麦胚作为小麦加工副产物之一,富含功能蛋白、活性肽类、凝集素、多糖等多种活性物质^[1-2]。其含油率达

11%,且麦胚中的脂肪酶、脂肪氧化酶活性较高^[3-5],脂肪酶能催化油脂中的三酰甘油水解为高级脂肪酸和甘油,而脂肪氧化酶则催化不饱和脂肪酸如亚油酸氧化,生成氢过氧化物,并进一步分解生成挥发性的醛和酮等,而发生酸败^[6-7]。麦胚通过研磨从小麦籽粒中脱离时,麦胚中的细胞间隔被破坏,内源酶与油脂等底物接触更加充分^[8]。

过热蒸汽是对饱和蒸汽进行加热而产生的一种高于饱和温度的水蒸气(120~400 °C),其处理食品原料具有无氧性、热效率高、钝酶速率快、受热均匀、营养流失少等优点^[9-11],被广泛应用于原料的干燥、钝酶、杀菌等方面^[12-14]。研究拟以新鲜麦胚为原材料,研究过热蒸汽处理对麦胚脂肪酶和脂肪氧化酶的钝化作用,通过正交试验确定最优处理条件,并通过加速贮藏试验考察其稳定化处理效果,旨在为麦胚的开发利用提供依据。

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:出厂后立即放置在密封袋中于-18 °C贮藏,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、氢氧化钠、盐酸、无水乙醚、吐温-20等;国产分析纯。

1.1.2 主要仪器设备

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;

恒温恒湿培养箱:HWS 智能型,宁波江南仪器厂;

恒温震荡培养箱:HZQ-X100 型,太仓市实验设备厂;

紫外可见分光光度计:T6 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

精密色差计:3nh NR60CP 型,上海高致精密仪器有

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: xiudingzhang@cau.edu.cn

收稿日期:2021-05-24

限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 过热蒸汽处理小麦胚芽的工艺优化 过热蒸汽处理时每次投料量为 40 g, 将其铺成 1 cm 厚度的均匀薄层。选取过热蒸汽处理温度、处理时间、蒸汽流量 3 个因素, 以脂肪酸值、脂肪酶活性和脂肪氧化酶活性为指标, 进行 $L_9(3^3)$ 正交试验, 确定过热蒸汽处理小麦胚芽的最优工艺条件。

1.2.2 脂肪酶活动度测定 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, 按式(1)计算脂肪酶活动度。

$$X = \frac{(V_1 - V_0) \times c \times 56.1}{m \times (100 - M)} \times \frac{60}{25} \times 100, \quad (1)$$

式中:

X ——脂肪酶活动度(以干基、KOH 计), mg/g;

V_1 ——试样滴定用氢氧化钾溶液体积, mL;

V_0 ——空白试验用氢氧化钾溶液体积, mL;

c ——实际氢氧化钾溶液浓度, mol/L;

m ——试样质量, g;

M ——试样水分含量, %;

56.1——氢氧化钾摩尔质量, g/mol。

1.2.3 脂肪氧化酶相对酶活测定

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

(2) 粗酶液提取: 称取 0.5 g 小麦胚芽粉, 加入 5 mL 磷酸缓冲液 (pH 7.0, 0.05 mol/L) 搅拌提取 30 min, 4 °C、8 000 r/min 离心 15 min, 取上清稀释 20 倍。

(3) 脂肪氧化酶相对酶活测定: 取 2 mL 磷酸缓冲液 (pH 7.0, 0.05 mol/L)、200 μ L 底物溶液和 50 μ L 粗酶液快速振摇混匀, 于 234 nm 下比色, 每隔 15 s 测定一次吸光值, 至吸光度呈线性趋势, 按式(2)计算脂肪氧化酶相对酶活。

$$Y = \frac{\Delta A_1}{\Delta A_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

Y ——脂肪氧化酶相对酶活, %;

ΔA_1 ——处理样品溶液在 234 nm 下比色每分钟吸光值变化;

ΔA_2 ——未处理样品溶液在 234 nm 下比色每分钟吸光值变化。

1.2.4 脂肪酸值测定 按 GB 15684—2015《谷物碾磨制品 脂肪酸值的测定》执行。

1.2.5 加速贮藏试验 将样品放入铝箔袋中密封, 40 °C

恒温恒湿箱中保存 28 d, 每 7 d 测定一次样品中的脂肪酶活动度和脂肪酸值。

1.2.6 色泽分析 使用色差仪进行测定, 颜色用 Hunter 系统的 L 、 a 、 b 值表示, 按式(3)计算总色差。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}, \quad (3)$$

式中:

ΔE ——总色差;

L ——明度或暗度;

a ——红色或绿色;

b ——黄色或蓝色;

ΔL 、 Δa 、 Δb ——对照组与处理组 L 、 a 、 b 值之间的差异。

1.2.7 数据统计与处理 所有试验重复 3 次, 结果表示为平均值±标准差; 使用 Excel 2018 软件进行数据统计和处理; 采用 IBM SPSS Statistics 软件进行数据分析; 采用 Origin 8.6 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 过热蒸汽处理小麦胚芽的工艺优化

2.1.1 正交试验 为了优化过热蒸汽处理小麦胚芽的工艺条件, 设计处理温度、处理时间、蒸汽流量三因素三水平正交试验, 试验因素水平表见表 1, 试验设计与结果见表 2。

由表 2 可知, 各因素对脂肪酶活动度影响依次为处理温度>处理时间>蒸汽流量, 对脂肪氧化酶相对酶活影响依次为蒸汽流量>处理时间>处理温度, 对脂肪酸值影响依次为处理时间>蒸汽流量>处理温度。

脂肪氧化酶的热敏性较强, 故高温处理对其灭活效果较好, 而脂肪酶热稳定性较高, 且在麦胚酸败过程中起到首要作用^[6]。由表 3 可知, 处理温度、处理时间和蒸汽流量 3 因素均对脂肪酶活动度影响显著 ($P < 0.05$)。综合考虑过热蒸汽处理对脂肪酶和脂肪氧化酶的钝化效果, 选取脂肪酶钝化效果为主要考虑指标, 得出最优工艺条件为 220 °C、Steam 档位处理 30 s。

2.1.2 验证实验 由表 4 可知, 最优过热蒸汽处理条件下, 麦胚中脂肪酶活动度为 7.50 mg/g, 为对照组的 17.26%, 灭活率为 82.74%; 脂肪氧化酶相对酶活为 12.97%, 灭活率为 87.03%, 与正交试验结果基本一致, 说明该最佳工艺条件有效。

表 1 正交试验设计 $L_9(3^3)^{\dagger}$

Table 1 Orthogonal experimental design $L_9(3^3)$

水平	A 处理温度/°C	B 处理时间/s	C 蒸汽流量
1	200	10	Sh
2	210	20	Steam
3	220	30	Flow

[†] 蒸汽流量档位 Flow>Steam>Sh。

表 2 过热蒸汽处理条件对小麦胚芽的影响

Table 2 Effects of different superheated steam treatment conditions on wheat germs

试验号	A	B	C	脂肪酶活动度/ (mg·g ⁻¹)	脂肪氧化酶 相对酶活/%	脂肪酸值/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)
1	1	1	1	11.32	25.21	41.32
2	1	2	2	9.78	18.47	37.48
3	1	3	3	9.25	16.80	36.42
4	2	2	3	9.28	15.88	37.25
5	2	3	1	9.30	20.75	36.42
6	2	1	2	9.32	19.53	38.46
7	3	2	2	7.48	13.00	36.04
8	3	1	3	8.45	17.89	37.54
9	3	2	1	9.36	18.44	38.59
脂肪酶 活动度	<i>k</i> ₁	10.12	9.70	9.99		
	<i>k</i> ₂	9.30	9.47	8.86		
	<i>k</i> ₃	8.43	8.68	8.99		
	<i>R</i>	1.69	1.02	1.00		
脂肪氧 化酶相 对酶活	<i>k</i> ₁	20.16	20.88	21.47		
	<i>k</i> ₂	18.72	17.60	17.00		
	<i>k</i> ₃	16.44	16.85	16.86		
	<i>R</i>	3.72	4.03	4.61		
脂肪酸值	<i>k</i> ₁	38.41	39.11	38.78		
	<i>k</i> ₂	37.38	37.77	37.33		
	<i>k</i> ₃	37.39	36.29	37.07		
	<i>R</i>	1.03	1.33	1.71		

2.2 过热蒸汽处理对小麦胚芽色泽的影响

由表5可知,麦胚经过过热蒸汽处理前后总色差ΔE差

表 3 过热蒸汽处理小麦胚芽对脂肪酶活性影响的
方差分析[†]

Table 3 Variance analysis of lipase activity in wheat
germs treated with superheated steam

来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	显著性
A	4.27	2	2.13	79.21	<0.05	*
B	1.72	2	0.86	32.01	<0.05	*
C	2.30	2	1.15	42.72	<0.05	*
误差	0.05	2	0.03			

[†] *F*_{0.05}(2,2)=19.000;“*”表示该因素水平变化对试验结果有显著性影响。

异显著(*P*<0.05)。过热蒸汽处理后麦胚的 *L* 值下降,*a*、*b* 值增加,表明过热蒸汽处理使麦胚色泽变暗,颜色向红、黄方向偏移,与肉眼观察变化相符。这可能是由于过热蒸汽处理使麦胚发生美拉德反应和焦糖化反应^[15]。

2.3 过热蒸汽处理后麦胚的贮藏特性

2.3.1 对残存脂肪酶活动度的影响 由图 1(a)可知,对照组和处理组的脂肪酶活动度均随贮藏时间的延长而降低,贮藏第 28 天,对照组麦胚仍具有 50.80% 的活性(由 43.46 mg/g 降至 22.07 mg/g);钝化处理后的麦胚脂肪酶活动度由贮藏初期的 7.50 mg/g 降至 6.51 mg/g,贮藏过程中的脂肪酶活动度均显著低于对照组。

2.3.2 对脂肪酸值的影响 由图 1(b)可知,对照组小麦

表 4 过热蒸汽处理麦胚最优工艺验证

Table 4 Validation of the optimal process of superheated steam treatment of wheat germs

处理条件	含水量/%	脂肪酸值/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	脂肪酶活动度/ (mg·g ⁻¹)	脂肪氧化酶 相对酶活/%
对照组	6.59±0.13	36.26±0.74	43.46±0.86	100.00±0.00
过热蒸汽处理	7.92±0.16	36.15±0.80	7.50±0.15	12.97±0.27

表 5 过热蒸汽处理对小麦胚芽色泽的影响[†]

Table 5 Effect of superheated steam treatment on color of wheat germs ($n=6$)

样品	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	ΔE
原麦胚	74.23±0.03 ^a	5.74±0.01 ^a	15.47±0.01 ^a	0.00±0.00 ^a
过热蒸汽钝化麦胚	70.37±0.01 ^b	6.20±0.01 ^b	18.50±0.00 ^b	4.92±0.03 ^b

[†] 同列字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

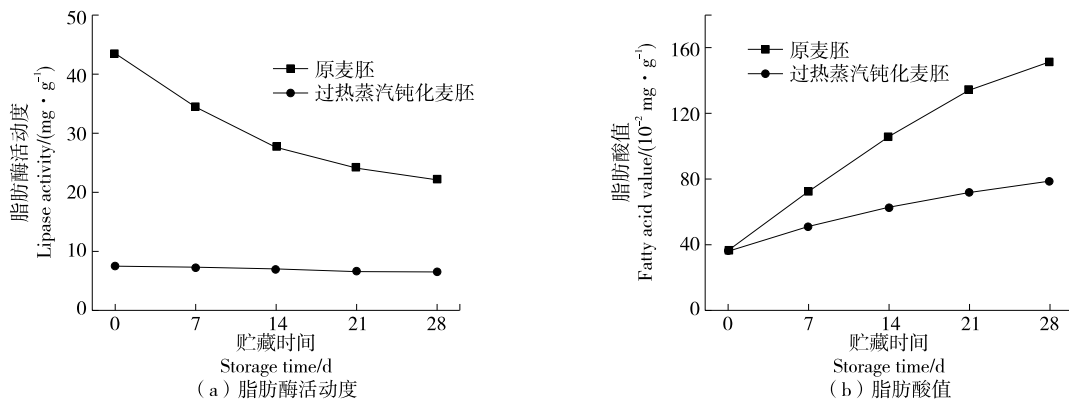


图 1 加速贮藏期间小麦胚芽的脂肪酶活动度和脂肪酸值

Figure 1 Lipase specific activity and fatty acid value changes during wheat germs storage

胚芽的脂肪酸含量迅速增加,从最初的 36.26 mg/100 g 增加至 150.88 mg/100 g,超出了 LS/T 3210—1993 标准的规定(麦胚脂肪酸值 ≤ 140 mg/100 g)。过热蒸汽处理后的麦胚脂肪酸含量虽有上升,但至贮藏结束时脂肪酸值为 78.67 mg/100 g。因此,过热蒸汽处理能够显著降低脂肪酶活 ($P<0.05$),抑制贮藏期间麦胚的脂肪酸值增加。

3 结论

经正交试验优化后,小麦胚芽过热蒸汽处理的最佳工艺条件为 220 ℃、Steam 档位处理 30 s,该条件下可以有效灭活脂肪酶和脂肪氧化酶。28 d 加速贮藏试验显示其脂肪酸值增加量显著低于未处理组,降低了 47.86%,说明过热蒸汽处理能有效降低小麦胚芽的脂肪酶活性,抑制贮藏过程中脂肪酸值增加,提高麦胚的稳定性,有利于延长麦胚贮藏期。后续实际生产时需根据设备和处理量差异进行工艺调整。

参考文献

[1] 黄继红, 陈文静, 廖爱美, 等. 麦胚活性成分研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2021, 42(1): 114-123.
HUANG Ji-hong, CHEN Wen-jing, LIAO Ai-mei, et al. Review on active components of wheat-embryo[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 42(1): 114-123.
[2] 许蓓蓓, 王振涛, 黄永军, 等. 不同稳定化方法对麦胚抗氧化活性的影响研究[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(3): 55-58.
XU Bei-bei, WANG Zhen-tao, HUANG Yong-jun, et al. Effects of different stabilization methods on antioxidant activity of wheat

germ[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2018, 43(3): 55-58.

[3] 宋归华, 刘锐, 王旭琳, 等. 小麦及制品的营养特性与营养化途径[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(7): 180-187.
SONG Gui-hua, LIU Rui, WANG Xu-lin, et al. Nutrition characteristics and nutrition fortification of wheat grains and products[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(7): 180-187.
[4] 俞凌, 黄永军, 周建新, 等. 稳定化方法对小麦胚蛋白功能特性的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2017(3): 4-9.
YU Ling, HUANG Yong-jun, ZHOU Jian-xin, et al. Effect of stabilization methods on functional properties of wheat germ protein[J]. Cereal and Feed Industry, 2017(3): 4-9.
[5] 王君茹, 林江涛, 苏东民. 不同稳定化方法对麦胚储藏特性的影响研究[J]. 粮食加工, 2018, 43(1): 18-22.
WANG Jun-ru, LIN Jiang-tao, SU Dong-min. Effects of stabilization methods on the storage characteristics of wheat germ[J]. Grain Processing, 2018, 43(1): 18-22.
[6] 魏一星, 董英, 周兴华, 等. 乳酸菌发酵改善小麦胚芽的营养品质与贮藏特性的研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 147-153.
WEI Yi-xing, DONG Ying, ZHOU Xing-hua, et al. Improvement of nutritional qualities and storage characteristics of wheat germ by lactic acid bacteria fermentation[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(4): 147-153.
[7] 栾琳琳, 卢红梅, 陈莉, 等. 薏仁米贮藏过程中品质的变化[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 149-154.
LUAN Lin-lin, LU Hong-mei, CHEN Li, et al. Change in the quality of coix seed during storage[J]. Food & Machinery, 2019, 35(3): 149-154.

(下转第 158 页)

- cytes[J]. *World Science and Technology-Modernization of Traditional Chinese Medicine*, 2019, 21(4): 603-609.
- [23] ANDREA R J, CYRIL W C K, LIVIA S A A, et al. Almonds and postprandial glycemia: A dose-response study[J]. *Metabolism-clinical & Experimental*, 2007, 56(3): 400-404.
- [24] DAVID J A J, CYRIL W C K, ANDREA R J, et al. Almonds decrease postprandial glycemia, insulinemia, and oxidative damage in healthy individuals[J]. *Journal of Nutrition*, 2006, 136(12): 2 987-2 992.
- [25] JUNA A P, ANGEL G S, ESTHER S, et al. A mufa-rich diet improves postprandial glucose, lipid and glp-1 responses in insulin-resistant subjects[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2007, 26(5): 434-444.
- [26] YOKOYAMA J, SOMEYA Y, YOSHIHARA R, et al. Effects of high-monounsaturated fatty acid enteral formula versus high-carbohydrate enteral formula on plasma glucose concentration and insulin secretion in healthy individuals and diabetic patients[J]. *Journal of International Medical Research*, 2008, 36(1): 137-146.
- [27] LYNNE W S, ASHOK B, KAY T K, et al. Long-term, randomized clinical trial of two diets in the metabolic syndrome and type 2 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2003, 26(8): 2 481-2 482.
- [28] RICHARD E H, FELICITAS S C. The prevention of alloxan-induced diabetes by amygdalin[J]. *Life Sciences*, 1980, 27(8): 659-662.
- [29] 冯韧. 膳食纤维对 2 型糖尿病的治疗作用[J]. *职业与健康*, 2016, 32(9): 1 294-1 296.
- FENG Ren. The therapeutic effect of dietary fiber on type 2 diabetes[J]. *Occupation and Health*, 2016, 32(9): 1 294-1 296.
- [30] ROBERT E P, ARCB G M, DANA E K, et al. Dietary fiber for the treatment of type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis[J]. *Journal of the American Board of Family Medicine*, 2012, 25(1): 16-23.
- [31] HOLSCHER H D, TAYLOR A M, SWANSON K S, et al. Almond consumption and processing affects the composition of the gastrointestinal microbiota of healthy adult men and women: A randomized controlled trial[J]. *Nutrients*, 2018, 10: 126.
- [32] DHILLON J, LI Z, ORTIZ R M. Almond snacking for 8 wk increases alpha-diversity of the gastrointestinal microbiome and decreases bacteroides fragilis abundance compared with an isocaloric snack in college freshmen[J]. *Current Development in Nutrition*, 2019, 3: nzz079.
- [33] LI S C, LIU Y H, LIU J F, et al. Almond consumption improved glycemic control and lipid profiles in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. *Metabolism-clinical & Experimental*, 2011, 60(4): 474-479.
- [34] PENNY M K E, THOMAS A P, WAN Y, et al. High-monounsaturated fatty acid diets lower both plasma cholesterol and triacylglycerol concentrations[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1999, 70(6): 1 009-1 015.
- [35] 李彦灵. 苦杏仁降血脂部位筛选及质量标准制定[D]. 广州: 广州中医药大学, 2013: 79.
- LI Yan-ling. Screening of bitter almonds for lowering blood lipid sites and establishment of quality standards[D]. Guangzhou: Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2013: 79.
- [36] DAVID J A J, FRANK B H, LINDA C T, et al. Possible benefit of nuts in type 2 diabetes[J]. *Journal of Nutrition*, 2008, 138(9): 1 752S-1 756S.
- (上接第 132 页)
- [8] 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]. *Grain Processing*, 2017, 42(3): 11-14.
- [9] ALFY A, KIRAN B V, JEEVITHA G C, et al. Recent developments in superheated steam processing of foods a review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, 56(13): 2 191-2 208.
- [10] 罗舜菁, 胡迪, 黄克愁, 等. 过热蒸汽处理对米糠营养性质和储藏稳定性的影响[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(5): 213-221.
- LUO Shun-jing, HU Di, HUANG Ke-chou, et al. Effects of superheated steam treatment on the nutritional properties and storage stability of rice bran[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(5): 213-221.
- [11] 林江涛, 王君茹, 苏东民. 小麦胚芽稳定化技术研究概述[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(2): 1-4.
- LIN Jiang-tao, WANG Jun-ru, SU Dong-min. Research progress on stabilization technology of wheat germ[J]. *Cereals and Oils*, 2018, 31(2): 1-4.
- [12] 宗平, 王燕, 吴卫国, 等. 热处理在稻谷及大米贮藏与加工中的应用研究进展[J]. *食品与机械*, 2020, 36(10): 206-209.
- ZONG Ping, WANG Yan, WU Wei-guo, et al. Research progress of heat treatment in paddy and rice storage and processing[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(10): 206-209.
- [13] 张泽伟, 段伟文, 陈铭, 等. 过热蒸汽对熟制小龙虾优势腐败菌的杀菌动力学及其机理[J]. *广东海洋大学学报*, 2020, 40(1): 87-96.
- ZHANG Ze-wei, DUAN Wei-wen, CHEN Ming, et al. Inactivation kinetics and mechanisms of dominant spoilage bacteria in cooked crayfish (*procambarus clarkia*) by superheated steam[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2020, 40(1): 87-96.
- [14] 吴绍华, 郭晓娜, 朱科学. 过热蒸汽处理对全麦粉理化特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(10): 29-34.
- WU Shao-hua, GUO Xiao-na, ZHU Ke-xue. Effect of superheated steam treatment on physicochemical properties of whole wheat flour[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(10): 29-34.
- [15] SEHRAWAT R, NEMA P K, KAUR B P. Effect of superheated steam drying on properties of foodstuffs and kinetic modeling[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2016, 34: 285-301.