

食盐对混合菌种发酵香肠质量指标的影响

Effect of salt on safety indexes of sausage inoculated with mixed cultures during fermentation

李 佳^{1,2} 刘忠义^{1,2} 陈 虞² 罗鑫坪² 杨 慧² 李 平²

LI Jia^{1,2} LIU Zhong-yi^{1,2} CHEN Yu² LUO Xin-ping² YANG Hui² LI Ping²

(1. 广西高校北部湾特色海产品资源开发与高值化利用重点实验室〔钦州学院〕, 广西 钦州 535000;

2. 湘潭大学化工学院, 湖南 湘潭 411105)

(1. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory of Development and High-value Utilization of Beibu Gulf Seafood Resources, Qinzhou, Guangxi 535000, China; 2. College of Chemical Engineering, Xiangtan, Hunan 411105, China)

摘要:研究盐浓度对香肠中 pH、亚硝酸盐、TVB-N、以及微生物等安全指标的影响,确定最适腌制盐浓度。结果表明:在 1.5% 及 2.0% 的盐浓度下乳酸菌受到的抑制作用较小,且发酵开始后的前 6 h 数量增加较快,6 h 后数量上升缓慢;当盐浓度达到 2.5%~3.0% 时,乳酸菌的生长繁殖受到一定程度的抑制;盐浓度达到 2.0%~3.0% 时,大肠菌群的生长繁殖受到明显抑制;盐浓度对菌落总数影响最大,盐浓度在 1.5%~3.0% 时,随着盐浓度的升高,发酵 6~9 h 后的总菌落数明显降低。盐浓度也影响发酵香肠 pH 值的变化,低盐度(1.5%~2.0%)条件下 pH 值下降更快。在 1.5%~3.0% 的盐浓度下,发酵 6~9 h 后香肠的亚硝酸盐含量随盐浓度的增加而增加。同时随着发酵时间的延长而增加;此外,TVB-N 的含量显然也受到盐浓度的影响。采用 2.0%~2.5% 的食盐腌制的益生菌发酵香肠具有较好的亚硝酸盐及微生物学安全性。

关键词:发酵;香肠;食盐;安全性

Abstract: In order to determining the optimum concentration of salt curing and providing a reference for the preparation of fermentation sausage pre-treatment, the pork was salted by four kinds of low salt concentration, then was made into sausages and fermented. The effects of pH, nitrite, TVB-N and microorganisms on the safety of sausage were analyzed and compared by national standard method under various salinity during fermentation. The results showed that lactic acid bacteria was inhibited less inhibitory at 1.5% and 2.0%

salt concentration. Number of lactic acid colonies increased rapidly at the first 6 h after fermentation, and increased slowly after 6 h fermentation. When the salt concentration reached 2.5%~3.0%, the growth and reproduction of lactic acid bacteria were inhibited to a certain extent. With the salt concentration reaching 2.0%~3.0%, the colony growth and reproduction was significantly inhibited. The salt concentration had the greatest effect on the total number of colonies, and under the salt concentration range of 1.5%~3.0%, the total number of colonies after 6~9 h of fermentation decreased significantly with the increase of salt concentration. Moreover, the salt concentration also affected the pH value of fermented sausage, and the pH value decreased more rapidly under low salinity conditions. Under salt concentration of 1.5%~3.0%, the content of nitrite in sausage increased with the increase of salt concentration after 6~9 h of fermentation, and increased with the prolongation of fermentation time. In addition, TVB-N content was also affected by the concentration of salt. The probiotic fermented sausage has better nitrite and microbiological safety with 2.0%~2.5% of salt concentration.

Keywords: fermentation; sausage; salt; safety

发酵香肠历史悠久,2 000 多年前地中海地区的古罗马人使用碎肉加盐、糖、香辛料等经过自然发酵、风干成滋香味美的香肠^[1-2],如今,发酵香肠已发展成为发酵肉制品中产量最大的一类产品。在发酵过程中,乳酸菌发酵使可发酵性糖形成乳酸,降低产品的 pH 值。较低的 pH 值使得肉中的盐溶性蛋白质变性,形成具有切片性的凝胶结构。添加食盐和干燥过程可以降低肉制品的水分活度,益生菌发酵产生的厌氧环境,与低 pH 值共同作用,保证了产品的稳定性和安全性^[3]。

现代发酵香肠的加工倾向于使用纯培养的乳酸菌等发酵菌种,可以使生产过程的微生物安全性及产品质量更有保

基金项目:湖南省农业科技支撑重点(编号:2017NK2092);湖南省农业科技支撑重点(编号:2015NK3034);湘潭大学 2016 年第十二批大学生创新基金课题(编号:2016126)

作者简介:李佳,女,钦州学院在读硕士研究生。

通信作者:刘忠义(1964—),男,钦州学院教授,博士。

E-mail: lzyly08@126.com

收稿日期:2017-12-25

障,且乳酸菌发酵的食品更有益于人体健康^[4-7]。研究^[8]表明,在肉制品和鱼制品的发酵过程中,接种纯培养的乳酸菌等益生菌可以降低制品的 pH 值,抑制腐败微生物和大肠杆菌等的生长繁殖,降低发酵肉、鱼制品中的挥发性盐基氮含量,抑制生物胺的生成和积累,改善鱼制品的色泽和白度,改善肉、鱼制品的风味。另有研究^[9-11]指出,在蔬菜的发酵与腌制加工中,乳酸菌等益生菌可以降低亚硝酸盐含量。

发酵肉肠的工艺条件的研究主要集中在发酵剂用量及配比,发酵温度、发酵湿度、发酵时间等方面^[2],而关于发酵过程中盐浓度的作用和影响的研究较少。目前大多数发酵香肠中添加的食盐量为 3%~8%^[12-13]。盐浓度对益生菌及腐败菌具有重要的影响,此外食盐摄入量过多会造成心脑血管疾病,特别是加大诱发高血压的风险^[14],低盐食品有益于人体健康。因此,非常有必要探究能否在添加更低浓度食盐($\leq 3\%$)的条件下生产出优质且食用安全有保障的发酵肉制品。

在前期的研究中,依据文献^[2],并通过实验验证了在发酵温度 32℃、发酵时间 6~9 h 的基础上,添加 0.08% 乳酸菌和 0.04% 酵母进行混合发酵可以得到风味品质俱佳的发酵香肠。本试验拟探讨在合适的发酵温度和时间段,低盐浓度范围内不同盐浓度对理化安全指标和微生物安全的影响,期望为发酵香肠改良生产工艺提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

新鲜猪肉:购于湘潭某集市;

乳酸菌发酵剂: 3.12×10^9 CFU/g,北京川秀科技有限公司;

酵母发酵剂: 3.95×10^9 CFU/g,安琪酵母股份有限公司;

肠衣:谭氏百盛电子商务有限公司;

1-7 二氨基庚烷、丹酰氯:分析纯,德国 AppliChen 公司;

亚硝酸钠、亚铁氰化钾、硼砂、乙酸锌、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、氧化镁、硼酸、盐酸、甲基红-乙醇指示剂、次甲基蓝指示剂:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

MRS 培养基、PCA 培养基、孟加拉红培养基、VRBA、BGLB 肉汤:生化试剂,上海盛思生化科技有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子分析天平:PTX-FA-110 型,上海精密科学仪器有限公司;

数显酸度计:PHS-3BW 型,上海雷磁仪器厂;

紫外分光光度计:Cary60 型,安捷伦科技有限公司;

恒温水浴锅:HH-4 型,上海申生科技有限公司;

半微量定氮器:1765 型,上海昕沪实验设备有限公司;

电热鼓风干燥箱:FN 101-2 型,长沙仪器仪表厂;

手提式灭菌锅:YXQ-SG46-280S 型,上海医用仪器有限公司;

垂直流洁净工作台:SCW-CJ-1F 型,苏州市长春电子仪

器厂;

恒温培养箱:SPX-250B-D 型,上海跃进医疗器械厂。

1.2 试验方法

1.2.1 猪肉的腌制与发酵 取新鲜猪肥、瘦肉清洗干净后,分别绞碎成肉糜;腌制剂:2.0%(g/100 g·肉糜,所有配料均如此)食盐、0.2%味精、0.3%胡椒粉、0.2%姜粉、0.2%五香粉、2.4%白糖、0.1%红曲粉、0.1%磷酸盐、0.8%酱油、2.4%黄酒;瘦肉糜中加入准备好的腌制剂在 2℃ 冷藏柜腌制 18 h,然后肥、瘦肉糜按 3:5 的质量比混合,加入 0.08% 的乳酸菌和 0.04% 的酵母后灌肠,将其置于 (32 ± 1) ℃、相对湿度 75%~80% 条件下发酵 9 h。

1.2.2 指标分析 在瘦肉糜中添加不同量食盐,经过 18 h 低温腌制后,添加混合菌种发酵 9 h,以四分法取样,分别对新鲜猪肉以及发酵 0, 6, 9 h 的肉肠进行 pH、亚硝酸盐、TVB-N 以及微生物生长情况的测定,以探究盐浓度对香肠安全性指标的影响。

(1) pH 值的测定:取 5 g 样品加入 20 mL 去离子水(pH 7.0)匀浆后震荡 30 min,再用数显酸度计测定 pH 值^[15]。

(2) 亚硝酸盐的测定:按 GB 5009.33—2010《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》的方法二执行。

(3) 挥发性盐基氮:按 GB/T 5009.44—2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法 半微量定氮法》执行。

(4) 微生物学指标测定:以无菌方式取破碎样品 25.0 g,以 10 倍系列稀释法对样品进行稀释,选取 2~3 个适宜的稀释度倾注或涂布平板。乳酸菌:用 MRS 培养基涂布平板,于 (36 ± 1) ℃ 培养 (48 ± 2) h 后计数;菌落总数:用 PCA 培养基倾注平板,于 (36 ± 1) ℃ 培养 (48 ± 2) h 后计数;大肠菌群:用 VRBA 倾倒入双层平板,于 (36 ± 1) ℃ 培养 (24 ± 1) h 后计数;典型和可疑菌落,用 BGLB 肉汤做验证实验后计数。

1.3 数据处理

所有试验重复 3 次。用 SPSS statistix 16.0 统计分析软件进行均值计算及方差分析,数值以均值±标准差表示, $P < 0.05$ 即表示差异显著。作图采用 Origin 8.5。

2 结果与讨论

2.1 发酵过程中微生物变化

如表 1 所示,在不同盐浓度腌制条件下,发酵初始乳酸菌数随盐浓度升高而略微减少但差异不显著($P > 0.05$)。发酵 6 h 后,盐浓度从低到高乳酸菌数分别增长到 (6.07 ± 0.12) , (5.81 ± 0.08) , (5.72 ± 0.15) , (5.63 ± 0.02) lg CFU/g。继续发酵至 9 h 后,不同盐浓度下乳酸菌数继续增加,增长速度和发酵 6 h 后保持一致,低盐浓度时乳酸菌数增长速度较快,随着盐浓度的增加,乳酸菌数增长速度降低。4 组中乳酸菌数在盐浓度 1.5% 条件下增长最快,当盐浓度高于 2.5% 时,乳酸菌的增长数量发生明显变化,说明 2.5% 以上的盐浓度开始对乳酸菌的生长繁殖产生盐胁迫作用,抑制了乳酸菌的生长繁殖,同时影响乳酸菌的存活率^[16]。

由表 2 可知,在发酵初始 1.5% 盐浓度腌制条件下大肠

菌群数明显高于其他组,且具有显著性差异($P<0.05$)。发酵 6,9 h 后,不同盐浓度下大肠菌群存在显著的差异。1.5% 盐浓度下发酵 6,9 h 后大肠菌群增幅最大,随着盐浓度的增加,大肠菌群数量增幅减少。试验结果显示,肉肠的盐浓度越高,对大肠菌群抑制性越强。其次,也有研究指出,乳酸菌发酵可以抑制大肠菌群的增值速度^[17-18],且大肠菌群与腌制、发酵香肠生物胺的生成和积累密切相关,抑制大肠菌群的生长繁殖可以显著降低香肠中生物胺含量^[15,18]。肠道菌还与腌制发酵蔬菜中的亚硝酸盐含量相关,一般抑制肠道菌的生长繁殖有利于降低腌制发酵蔬菜中的亚硝酸盐含量^[9-11]。

如表 3 所示,腌制结束后 3.0% 盐浓度腌制条件下菌落总数明显低于其他组。发酵 6,9 h 时,不同盐浓度发酵条件下菌落总数表现出显著的差异性($P<0.05$),其规律均是随着盐浓度的升高而菌落总数相对变少。盐浓度为 1.5% 时,菌落总数增长幅度最大,当盐浓度增大到 3.0% 时,9 h 时较 6 h 时菌落总数略有升高但差异不大,说明 3.0% 盐浓度能抑制益生菌发酵香肠中绝大部分微生物的生长,与后面的 pH 值、亚硝酸盐含量以及 TVB-N 的试验结果可以相互印证。

从上面 3 种微生物的生长变化情况来看,盐浓度对乳酸菌、大肠菌群、菌落总数均有负效应,即随着盐浓度的增加,微生物数量相应地下降,其中盐浓度对菌落总数的影响最强,可能是香肠中大部分微生物的食盐敏感性,导致随着盐浓度的增加,菌落总数明显出现下降,并且腐败菌及有害微生物的生长也受到了抑制,有益于产品的品质,这也是用食盐腌制食物延长保藏期的原理。

2.2 发酵过程中 pH 变化

由图 1 可知,腌制结束后,各组的 pH 基本上同等降低,各组之间无显著性差异。不同盐浓度条件下发酵 6 h 后,各组 pH 值均呈下降趋势,其 pH 值在 5.61~5.89,继续发酵至 9 h 后 pH 值进一步降低,其 pH 值降低至 5.51~5.79。发酵时间相同时,盐浓度越低,pH 值下降幅度越大。这表明盐浓度显著影响了发酵香肠 pH 值的下降速度。盐浓度影响肉肠中微生物的渗透压,当盐浓度为 3.0% 时,pH 值下降幅度小,说明乳酸菌的生长繁殖可能受到了抑制。这个结果和前面乳酸菌及其他微生物的试验结果可以相互印证。一般情况下,发酵香肠的 pH 值都会下降^[7,19],pH 值的降低有利于香肠中亚硝酸盐的降低、发酵风味的形成及保藏。

表 1 盐浓度对香肠乳酸菌数的影响[†]

Table 1 Effect of salt concentration on lactic acid bacteria of sausage

lg CFU/g				
盐浓度/%	新鲜猪肉	发酵 0 h	发酵 6 h	发酵 9 h
1.5	2.14±0.08 ^d	5.65±0.06 ^c	6.07±0.12 ^b	6.53±0.10 ^a
2.0	2.14±0.08 ^d	5.55±0.07 ^c	5.81±0.08 ^{bc}	6.46±0.35 ^a
2.5	2.14±0.08 ^d	5.51±0.06 ^c	5.72±0.15 ^c	6.16±0.12 ^b
3.0	2.14±0.08 ^d	5.50±0.02 ^c	5.63±0.02 ^c	6.10±0.08 ^b

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 2 盐浓度对香肠大肠菌群数的影响[†]

Table 2 Effect of salt concentration on the number of coliform bacteria in sausage

lg CFU/g				
盐浓度/%	新鲜猪肉	发酵 0 h	发酵 6 h	发酵 9 h
1.5	1.6±0.10 ^e	2.00±0.06 ^{cd}	2.91±0.07 ^b	3.33±0.02 ^a
2.0	1.6±0.10 ^e	1.89±0.06 ^e	2.39±0.02 ^d	2.61±0.24 ^c
2.5	1.6±0.10 ^e	1.82±0.08 ^e	2.12±0.18 ^d	2.33±0.12 ^d
3.0	1.6±0.10 ^e	1.74±0.07 ^e	1.77±0.19 ^e	2.26±0.15 ^{cd}

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 盐浓度对香肠菌落总数的影响[†]

Table 3 Effect of salt concentration on the number of bacterial colonies in sausage

lg CFU/g				
盐浓度/%	新鲜猪肉	发酵 0 h	发酵 6 h	发酵 9 h
1.5	4.98±0.02 ^b	6.55±0.03 ^f	7.09±0.05 ^b	7.46±0.04 ^a
2.0	4.98±0.02 ^b	6.53±0.03 ^f	6.79±0.01 ^c	7.11±0.08 ^b
2.5	4.98±0.02 ^b	6.52±0.11 ^f	6.59±0.07 ^e	6.63±0.06 ^d
3.0	4.98±0.02 ^b	6.49±0.02 ^g	6.51±0.13 ^f	6.53±0.03 ^f

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

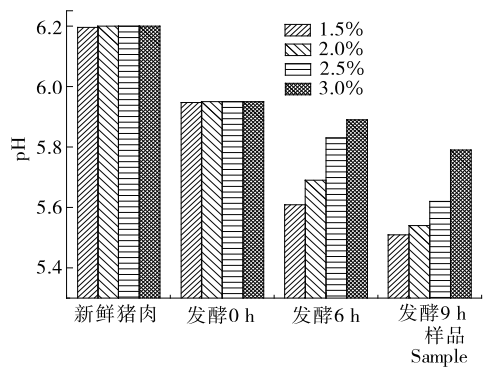


图1 盐浓度对香肠 pH 的影响

Figure 1 Effect of salt concentration on pH of sausage

2.3 发酵过程中亚硝酸盐、TVB-N 变化

从图2可知,在原料中添加食盐进行18 h低温腌制后,1.5%及2.0%盐浓度腌制条件下残留的亚硝酸盐量与其他组具有显著性差异($P<0.05$),并且亚硝酸盐的残留量随着盐浓度的增大而增加。而香肠发酵6,9 h后,亚硝酸盐残留量与盐浓度呈现正相关,较低盐浓度发酵条件下亚硝酸盐的累积量始终低于较高盐浓度的,说明在发酵过程中较高盐浓度发酵条件会累积更多的亚硝酸盐。文献[20]指出高食盐含量肉制品中蛋白质易与亚硝酸盐反应,因此使残留的亚硝酸盐浓度下降。本试验也得出一致结论,在不同盐浓度腌制条件下,原料中的亚硝酸残留量随盐度的增加而降低。而当肉肠进入发酵后,在乳酸菌的作用下,较高盐浓度抑制了乳酸菌的生长,从而可能影响乳酸菌对亚硝酸盐的降解。文献[20]还指出亚硝酸盐残留量随着香肠 pH 值的降低而减少,与本试验的结果一致。此外,在一些关于酸菜发酵的文献[11,21-22]记载,乳酸菌有降低亚硝酸盐积累的作用。

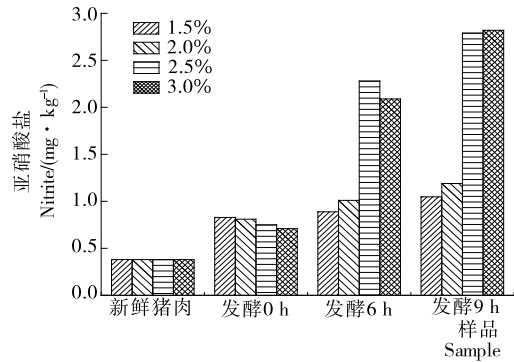


图2 盐浓度对香肠亚硝酸盐含量的影响

Figure 2 Effect of salt concentration on nitrite content of sausage

从表4中可以看出,在原料中添加食盐低温腌制18 h后,虽然数据分析显示不同盐浓度条件下 TVB-N 的含量具有显著差别,但是实际数值差异甚微。由于 TVB-N 主要来源于蛋白质的分解或者腐败[23],因此在低温腌制18 h的情况下,盐浓度对蛋白质的腐败影响较小,可能是低温抑制了腐败菌的生长繁殖及代谢。发酵到6 h时,不同盐浓度肉肠中的 TVB-N 含量增长幅度随着盐浓度的增加而减少,较低

盐浓度增长速度更快,而从6 h发酵到9 h后,1.5%盐浓度发酵条件下 T-VBN 含量继续升高,而其他盐浓度发酵条件下 TVB-N 含量却略有降低,其含量分别降至 (2.73 ± 0.05) , (2.70 ± 0.02) , (2.69 ± 0.01) mg/100 g。TVB-N 主要是由于酶和细菌的作用使蛋白质分解而产生氨以及胺类等碱性含氮物质,说明2.0%的盐浓度就可能对腐败微生物或蛋白酶活性有一定的抑制作用。此外,也有研究[18,24]指出由于胺类能进入细胞内与糖代谢产生的有机酸反应生成氨基酸,而使得 TVB-N 含量下降。

和前面微生物的试验结果相互印证,推测抑制腐败菌和大肠菌群的生长繁殖,可以降低发酵香肠中亚硝酸盐及 TVB-N 的生成和积累。

表4 盐浓度对香肠挥发性盐基氮含量的影响†

Table 4 Effect of salt concentration on TVB-N

盐浓度/%	Content of Sausage				mg/100 g
	新鲜猪肉	发酵 0 h	发酵 6 h	发酵 9 h	
1.5	—	1.63±0.03 ^b	3.46±0.03 ^b	3.65±0.03 ^a	
2.0	—	1.63±0.06 ^b	2.91±0.08 ^c	2.73±0.05 ^e	
2.5	—	1.65±0.06 ^a	2.83±0.03 ^d	2.70±0.02 ^f	
3.0	—	1.64±0.02 ^{ab}	2.82±0.15 ^d	2.69±0.01 ^f	

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

3 结论

研究了在1.5%~3.0%的盐浓度条件下低温腌制及接种人工菌种的发酵过程中香肠部分理化指标的变化以及微生物生长情况,发现低盐浓度亚硝酸盐累积速度较慢,而高盐浓度 TVB-N 含量累积速度更慢,虽然食盐的添加能有效抑制细菌的生长,但浓度过高可能导致过咸以及延迟成熟,影响肉肠的口感与品质;另外对发酵肉肠而言,pH 值过低,则会使产品酸度过高,在口感上让人难以接受,而 pH 值过高,会使产品无法显现出发酵肉制品特有的香味[25],因此,考虑到发酵肉肠的安全性以及食盐作为调味品对风味的影响,盐浓度选择2.0%~2.5%较为适宜。同时,综合考虑亚硝酸盐含量和微生物菌落数的变化,发酵时间以6 h较为合适。

食盐的浓度同样影响香肠发酵过程中蛋白质的变化、香肠的凝胶特性和质构以及发酵香肠的风味,因此这也是后期试验亟待研究的问题。

参考文献

[1] 王俊钢, 李开雄, 韩冬印. 国内外发酵香肠的研究现状及其展望[J]. 肉类工业, 2009(6): 49-51.

[2] LEROY F, VERLUYTEN J, DEVNYST L. Functional meat starter cultures for improved sausage fermentation[J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 106(3): 270-285.

[3] RHEE S J, LEE J E, LEE C H. Importance of lactic acid bacteria in Asian fermented foods[J]. Microbiology Cell Fact, 2011, 10(Suppl 1): S5.

- [4] 尹乐斌, 张臣飞, 孙菁, 等. 一株产细菌素乳酸菌的分离、鉴定及生物学特性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 12-15.
- [5] 努丽艳·阿布都米力克, 沙吉坦穆·克依斯尔, 阿依古扎·伊布拉音, 等. 新疆传统发酵乳骆驼乳乳酸菌粘附特性及益生特性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 42-46.
- [6] MOHAMMED S A, BALTASAR M. Selection criteria for lactic acid bacteria to be used as functional starter cultures in dry sausage production: a update[J]. Meat Science, 2007, 76(3): 138-146.
- [7] 张聪, 周光宏, 徐幸莲, 等. 一种复合微生物发酵剂对发酵香肠品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(1): 182-188.
- [8] 杨菊. 益生菌发酵鱼糜制品的安全品质的研究[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2017: 8-21.
- [9] 孟繁博, 张万萍, 吴康云. 接种发酵对酸菜品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 179-183.
- [10] 龚钢明, 管世敏. 乳酸菌降解亚硝酸盐的因素探讨[J]. 食品工业, 2010(5): 6-8.
- [11] 刘丛丛, 纪凤娣, 李博. 接种与调酸发酵对白菜中亚硝酸盐含量的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 215-218.
- [12] 张露, 张雅玮, 惠腾, 等. 低钠干腌肉制品研究进展[J]. 肉类研究, 2013, 27(11): 45-49.
- [13] 闫晓蕾. 山梨糖醇在香肠制品中的持水作用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 8-12.
- [14] 邹霞, 林爱华. 高血压知识、健康信念对食盐和烹调油摄入量影响的研究[J]. 现代预防医学, 2012, 39(11): 2 679-2 681.
- [15] 谢诚, 刘忠义, 周宇峰, 等. 混合菌种发酵对草鱼肉微生物和生物胺变化的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010(3): 167-172.
- [16] 王璐. 盐胁迫下乳酸菌的高密度培养及冻干保护的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010: 30-42.
- [17] 朱迎春, 杜智慧, 马俪珍, 等. 发酵剂对发酵香肠微生物及理化特性的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 198-204.
- [18] HU YONG-JIN, XIA Wen-shui, GE Chang-rong. Effect of mixed starter cultures fermentation on the characteristics of silver carp sausages[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2007, 23(7): 1 021-1031.
- [19] 沈清武. 发酵干香肠成熟过程中的菌相变化及发酵剂对产品质量的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2004: 25-36.
- [20] 熊潮慧, 陈一资. 香肠制品中降低亚硝酸盐残留量的方法[J]. 肉品卫生, 2005(5): 31-35.
- [21] 陈影, 王锦慧, 张文菱子, 等. 乳酸菌发酵黄瓜泡菜品质的研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 208-211.
- [22] 葛焱, 郭双霜, 陈安均. 泡菜中亚硝酸盐消长规律及调控技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 382-385.
- [23] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB 2707—2005 鲜(冻)畜肉卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005: 1-2.
- [24] CONTRERAS B G, DE V L, DEVREESE B, et al. Isolation, purification, and amino acid sequence of lactobin A, one of the two bacteriocins produced by *Lactobacillus amylovorus* LMG P-13139[J]. Applied & Environmental Microbiology, 1997, 63(1): 13-20.
- [25] 马汉军, 周光宏, 余小领, 等. 中式发酵香肠 pH 与 A_w 的关系及其对产品风味的影响[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(1): 87-91.

(上接第 100 页)

平板温度的分布可以影响到系统的冻结时间和能耗。针对射流泵供液整体上下不均匀的问题,如果在平板前使用分液头分配制冷剂,可以进一步优化温度场分布,提升冻结效果。

参考文献

- [1] 胡俊, 蒲彪, 何锦风. 真空冷冻干燥过程中节能措施探讨[J]. 食品与机械, 2007, 23(2): 122-125.
- [2] 杜子峥, 谢晶. 冷库节能减排研究进展[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 4-11.
- [3] 陈依水. 引射泵在平板速冻机制冷系统中的应用[J]. 渔业现代化, 1990(4): 19-21.
- [4] 李丽芬. 热力膨胀阀选型方法研究及对系统可靠性的影响[D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 2-4.
- [5] 张剑萍. 制冷的基本装置——“膨胀阀”(上)[J]. 商场现代化, 1981(4): 18-22.
- [6] LORENTZEN G. Throttling, the internal haemorrhage of the refrigeration process[C]// The Plenary Session of the 16th IIR Congress. Paris: Proceedings of the Institute of Refrigeration, 1983: 39-47.
- [7] 张棣, 董祥伟, 李增亮, 等. 射流泵内流场数值计算的结构化网格划分方法[J]. 石油矿场机械, 2016, 42(11): 1-7.
- [8] DOPAZO J A, FERNÁNDEZ-SEARA J, SIERES J, et al. Theoretical analysis of a $\text{CO}_2\text{-NH}_3$ cascade refrigeration system for cooling applications at low temperatures[J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29(8): 1 577-1 583.
- [9] LAWRENCE N, ELBEL S. Experimental investigation of a two-phase ejector cycle suitable for use with low-pressure refrigerants R134a and R1234yf[J]. International Journal of Refrigeration, 2014, 38(1): 310-322.
- [10] JEON Y, KIM S, KIM D, et al. Performance characteristics of an R600a household refrigeration cycle with a modified two-phase ejector for various ejector geometries and operating conditions[J]. Applied Energy, 2017, 205: 1 059-1 067.
- [11] 肖颀, 林原胜, 魏志国, 等. 射流泵内压力分布研究[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(1): 85-89.
- [12] 田晓雨, 王金庆, 曹晓程, 等. 冷凝温度变化对两相射流泵供液平板速冻机的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 71-73.
- [13] ARUN K M, TIWARI S, MANI A. Three-dimensional numerical investigations on rectangular cross-section ejector[J]. International Journal of Thermal Sciences, 2017, 122: 257-265.
- [14] 王金庆, 宋立尧, 曹晓程, 等. 一种射流泵节流供液制冷系统: 中国, 102878715 B[P]. 2013-01-16.