

不同盐分贮藏条件下天然肠衣的微生物及理化性质变化

王国栋¹, 贺稚非^{1,2}, 李洪军^{1,2,*}, 王毅¹

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400716; 2.重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

摘要: 探讨不同盐分条件下贮藏天然肠衣微生物及理化性质的变化规律, 为改善肠衣贮藏方式提供理论依据。以新鲜猪肠衣为材料, 置于盐含量为18%、20%、22%、24%、26%的盐水中4℃条件下密封贮藏, 期间分别测定肠衣色泽、穿刺力、挥发性盐基氮含量、菌落总数、大肠菌群和乳酸菌总数等指标。结果显示: 色泽、穿刺力均随贮藏时间的延长而降低, 挥发性盐基氮含量变化则相反, 但各理化指标仅在部分时间段或盐分组间存在显著差异。贮藏期间18%、20%、22%、24%盐水贮藏组的菌落总数先降低再增加后降低, 这4个盐分贮藏组乳酸菌总数则分别在第15、5、5、5天达到最大值后逐渐降低, 而26%盐分贮藏组菌落总数和乳酸菌均一直降低。总之, 4℃条件下, 大于22%盐含量能够安全贮藏天然肠衣90 d以上。

关键词: 天然肠衣; 不同盐分; 品质特性; 变化

Changes in Microbiological and Physico-chemical Properties of Natural Casings during Storage at Different Salinity Levels

WANG Guo-dong¹, HE Zhi-fei^{1,2}, LI Hong-jun^{1,2,*}, WANG Yi¹

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400716, China)

Abstract: This study investigated the changes in microbiological and physico-chemical properties of natural casings after storage at different salinity levels. Fresh hog casings were stored under sealed conditions at different salinity levels(18%, 20%, 22%, 24% and 26%) at 4℃. Color parameters, puncture force, total volatile basic nitrogen (TVB-N) value, total plate count, coliform count and total number of lactic acid bacteria during storage were determined. The results showed that the color and puncture force of natural casings decreased with prolonged storage duration whereas the opposite changes in TVB-N value were observed. However, significant differences ($P < 0.05$) were only found in certain periods of time or between different salinity levels. The total plate count of the first four groups decreased firstly, then increased and finally decreased, and the total number of lactic acid bacteria reached a maximum on days 15, 5, 5 and 5, respectively, and then decreased. However, both total plate count and lactic acid bacteria in the 26% salinity group always decreased. In summary, brining with a salt content above 22% can provide safe storage of casings for more than 90 days at 4℃.

Key words: nature casings; different salinity levels; quality characteristics; changes

中图分类号: TS201.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)04-0215-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201404044

我国是世界上最大的天然肠衣生产国, 年产量占世界总产量的三分之一。天然肠衣应用于香肠的外包装材料, 不仅口感适宜, 且具有天然的色、香、味, 深受广大消费者的喜爱。然而, 目前我国肠衣企业普遍采用干盐贮藏, 此方法工序繁琐、耗盐量大, 不适于机械化生产, 生产成本也越来越高。如何高效的控制肠衣品质变化一直是业内人士关注的焦点。1905年von Ostertag最早

对肠衣的寄生虫等卫生缺陷进行了报道。此后, 一些学者探究了微生物引起的肠衣红变, 在肠衣中鉴定出芽孢杆菌属、假单胞菌属、微球菌属和乳杆菌属^[1], 并发现肠衣是由许多胶原纤维的片状层交叉排布而成, 血管中含有约2%的弹性蛋白^[2-3]。还有学者研究了盐腌制^[4-7]、辐射^[8-9]、栅栏技术^[10]、添加抑菌剂^[11-14]等对天然肠衣乳酸菌、沙门氏菌、李斯特菌等的杀灭作用。表面活性剂处

收稿日期: 2013-03-24

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903012); 四川省科技支撑计划项目(12ZC2439)

作者简介: 王国栋(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为肉类科学与酶工程。E-mail: gdwang1986@163.com

*通信作者: 李洪军(1961—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉类科学与酶工程。E-mail: hongjunli1961@yahoo.com.cn

理^[15]、磷酸三钠^[16-19]、臭氧处理^[20]对天然肠衣质构特性及生物力学性质的影响也有报道。但具体的盐分含量对天然肠衣微生物及物化特性的影响还未见报道。

现行国标仅对肠衣色泽、气味、兽药和重金属残留进行了规定,对贮藏期间的品质评价并没有明确规定。其实,天然肠衣的品质与多项指标有关。穿刺力直接反映了肠衣膜的耐受力,并最终决定灌肠的质量。蛋白质的分解也是肠衣变质的主要原因。此外,新鲜肠衣往往携带大量细菌,特别是乳酸菌和大肠杆菌,贮藏期间若不能有效控制其生长,将对消费者的健康产生威胁。因此,本实验对不同盐分贮藏条件下天然肠衣的理化及微生物变化进行了研究,以期为实际应用中提高肠衣贮运质量提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜猪肠衣,A级,颜色质地均匀,由重庆市天食畜产品有限公司提供。肠衣经规范上盐处理后装入保鲜袋加干冰运回实验室,用恒温恒流自来水冲洗30 min,4℃条件下静置24 h备用。

氧化镁、硼酸、磷酸二氢钾、葡萄糖、乳糖等均为分析纯;胰蛋白胍、琼脂粉为生化试剂。

1.2 仪器与设备

HYC-360型海尔药品保存箱 青岛海尔特种电器有限公司;DHP-9272型电热恒温培养箱 上海齐欣科学仪器有限公司;UltraScan Pro测色仪 美国HunterLab公司;TA-XT2i物性测定仪 英国Stable Micro System公司;TOMY SS-325高压灭菌锅 日本Tomy Kogyo公司。

1.3 方法

1.3.1 肠衣贮藏处理

配制含盐量分别为18%、20%、22%、24%、26%的盐水,煮沸15 min无菌环境下冷却后,立即分装入已灭菌的聚乙烯袋中,编号备用。为了减少动物的自然差异的影响,先将处理后的肠衣分割成1 m长的小段,之后随机分成5组,对应5个盐分含量,每组24 m,按每3 m为一个样品装入已编号的聚乙烯袋中,封口后立即置于4℃的环境下贮藏,以上处理均在无菌操作台进行。分别测定第0、5、15、30、50、70、90天的色泽、穿刺力、挥发性盐基氮含量、菌落总数、大肠菌群和乳酸菌总数。

1.3.2 色泽的测定

将肠衣剪成20 cm的长段,展平后对折2次。采用CIE $L^*a^*b^*$ 法,以标准白板作标准,测定样品的亮度

(L^*)、红度(a^*)、黄度(b^*)值,对于同一样品平行测定10次,取平均值。

1.3.3 穿刺力的测定

将肠衣裁成50 mm×80 mm的长方形,在长度方向中轴处随机取点,用物性仪测定肠衣被刺破时探头的最大感应力,将此力定义为穿刺力,单位为g。测定选用P/2N探头,测试速率为1.0 mm/s,测试方式为下压一次后返回原点,测定10次取平均值。

1.3.4 挥发性盐基氮含量的测定

参照GB/T 5009.44—2003《肉与肉制品卫生标准的分析方法》中半微量定氮法,每个样品做3次平行测定,取平均值。

1.3.5 菌落总数的测定

参照GB 4789.2—2010《食品微生物学检验:菌落总数测定》,结果以对数lg(CFU/g)表示。

1.3.6 大肠菌群的测定

参照GB 4789.3—2010《食品微生物学检验:大肠菌群计数》进行实验。

1.3.7 乳酸菌的测定

参照GB 4789.35—2010《食品微生物学检验:食品中乳酸菌检验》进行实验。

1.3.8 统计分析

所有数据均采用Excel 2003整理作图,运用DPS v 7.05软件进行差异显著性分析, $P<0.05$ 为显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同盐分贮藏条件下天然肠衣色泽的变化

从表1可以看出,肠衣的 L^* 、 a^* 、 b^* 值均随贮藏时间延长而降低,这主要是由于肠衣含有的脂肪及色素与空气接触后发生自动氧化引起的^[21]。此外,一些腐败微生物的降解作用也使部分附着在肠衣壁的组织分解,使肠衣色泽发生改变。贮藏期内 L^* 值略有下降, a^* 值下降了一半左右,而 b^* 下降39.3%~68.8%不等。但色泽总体变化比较缓慢, L^* 、 a^* 、 b^* 值随时间变化的显著差异每间隔2~3个测定时间才会表现出来。Benli等^[20]的研究也证实虽然臭氧处理时间的延长会使肠衣 L^* 、 a^* 、 b^* 值降低,但产生的差异非常小。相同测定时间,只有到50 d后盐分含量才对各指标产生显著影响($P<0.05$)。综合分析可知,盐含量为22%的实验组色泽各项指标变化最小。这可能是由于过高盐度造成蛋白质变性加剧,使肠衣色泽降低,而低盐度时微生物对蛋白质的分解也不利于肠衣的色泽稳定。

表1 不同盐分条件下天然肠衣L*、a*、b*值的变化
Table 1 Change in L*, a* and b* values of natural hog casings at different salinity levels

色泽	贮藏时间/d	盐含量/%				
		18	20	22	24	26
L*	0	83.41±1.57 ^{Aa}	83.41±1.57 ^{Aa}	83.41±1.57 ^{Aa}	83.41±1.57 ^{Aa}	83.41±1.57 ^{Aa}
	5	82.35±2.79 ^{Aa}	83.40±1.09 ^{Aa}	81.03±1.69 ^{Aa}	83.02±0.75 ^{kab}	82.84±0.80 ^{Aa}
	15	83.30±2.27 ^{Aa}	82.20±3.03 ^{Aa}	82.35±2.21 ^{Aa}	78.19±0.44 ^{Bd}	77.54±1.41 ^{Bb}
	30	79.73±3.51 ^{Ab}	79.82±3.41 ^{Ab}	81.65±1.43 ^{Aa}	81.00±1.61 ^{Abc}	77.13±3.19 ^{Ab}
	50	79.49±1.46 ^{Bb}	77.58±0.92 ^{BCbc}	82.64±2.70 ^{Aa}	80.00±1.22 ^{ABcd}	75.82±0.76 ^{Cb}
	70	81.13±1.62 ^{ABb}	81.24±1.75 ^{Ab}	82.74±1.48 ^{Aa}	78.42±3.25 ^{Bd}	76.99±1.89 ^{Cb}
	90	72.85±3.46 ^{BCc}	75.65±1.33 ^{Bc}	78.52±1.50 ^{Ab}	72.34±1.65 ^{BCc}	68.60±2.38 ^{Cc}
	90	72.85±3.46 ^{BCc}	75.65±1.33 ^{Bc}	78.52±1.50 ^{Ab}	72.34±1.65 ^{BCc}	68.60±2.38 ^{Cc}
a*	0	-1.53±0.36 ^{Aa}	-1.53±0.36 ^{Aa}	-1.53±0.36 ^{Aa}	-1.53±0.36 ^{Aa}	-1.53±0.36 ^{Aa}
	5	-1.88±0.18 ^{Aa}	-1.65±0.21 ^{Ab}	-2.02±0.26 ^{Ab}	-1.75±0.34 ^{Aa}	-2.11±0.24 ^{Ab}
	15	-2.50±0.41 ^{Bb}	-2.02±0.34 ^{Abc}	-2.43±0.05 ^{Bbc}	-2.62±0.13 ^{Bb}	-2.67±0.48 ^{Bbc}
	30	-2.56±0.15 ^{ABb}	-2.20±0.27 ^{Ac}	-2.64±0.14 ^{ABbc}	-2.71±0.30 ^{BCb}	-2.98±0.33 ^{Cc}
	50	-3.07±0.22 ^{Bbc}	-2.87±0.17 ^{Bd}	-2.55±0.26 ^{Abc}	-2.81±0.08 ^{Bb}	-2.87±0.34 ^{Bc}
	70	-3.28±0.12 ^{BCc}	-2.64±0.14 ^{Ad}	-2.97±0.37 ^{ABc}	-3.41±0.30 ^{Cc}	-3.14±0.18 ^{BCc}
	90	-3.49±0.12 ^{Cc}	-2.88±0.23 ^{Bd}	-2.74±0.17 ^{Ac}	-3.58±0.21 ^{Cc}	-3.18±0.31 ^{BCc}
	90	-3.49±0.12 ^{Cc}	-2.88±0.23 ^{Bd}	-2.74±0.17 ^{Ac}	-3.58±0.21 ^{Cc}	-3.18±0.31 ^{BCc}
b*	0	8.11±0.97 ^{Aab}	8.11±0.97 ^{Aab}	8.11±0.97 ^{Aa}	8.11±0.97 ^{Aa}	8.11±0.97 ^{Aa}
	5	9.10±0.67 ^{Aa}	8.14±1.36 ^{Ab}	8.65±0.69 ^{Aa}	8.12±1.42 ^{Aa}	8.24±1.12 ^{Aa}
	15	7.72±1.21 ^{Bbc}	9.70±1.09 ^{Aa}	6.23±0.84 ^{Bb}	7.03±0.68 ^{Bab}	5.48±0.39 ^{Bb}
	30	8.06±0.86 ^{Ab}	8.56±0.87 ^{Aa}	5.87±0.54 ^{ABc}	5.63±1.32 ^{BBbc}	5.48±1.27 ^{ABb}
	50	4.53±0.52 ^{Cc}	8.74±0.81 ^{Aa}	6.27±0.64 ^{Bb}	4.63±0.87 ^{Cd}	4.06±0.62 ^{Cbc}
	70	5.05±0.84 ^{Abc}	5.58±0.42 ^{Ab}	5.67±0.59 ^{Abc}	3.38±0.38 ^{Bd}	3.18±0.61 ^{Bc}
	90	3.80±1.09 ^{ABd}	3.43±0.38 ^{ABc}	4.92±0.34 ^{Ad}	3.17±0.34 ^{BCd}	2.53±1.06 ^{Cd}
	90	3.80±1.09 ^{ABd}	3.43±0.38 ^{ABc}	4.92±0.34 ^{Ad}	3.17±0.34 ^{BCd}	2.53±1.06 ^{Cd}

注：同行不同大写字母代表不同盐分组间差异显著（ $P < 0.05$ ），同列同指标不同小写字母表示不同时间段差异显著（ $P < 0.05$ ）。下同。

2.2 不同盐分贮藏条件下天然肠衣穿刺力的变化

表2 不同盐分条件下天然肠衣穿刺力的变化
Table 2 Changes in puncture force of natural hog casings at different salinity levels

贮藏时间/d	盐含量/%				
	18	20	22	24	26
0	180.53±12.92 ^{Aa}	180.53±12.92 ^{Aa}	180.53±12.92 ^{Aa}	180.53±12.92 ^{Aa}	180.53±12.92 ^{Aa}
5	152.25±12.06 ^{Ab}	161.71±16.25 ^{Ab}	171.58±22.07 ^{Ab}	172.41±22.07 ^{Ab}	174.07±21.36 ^{Ab}
15	148.08±29.15 ^{Ab}	150.96±21.22 ^{Ab}	169.51±32.45 ^{Ab}	176.44±32.11 ^{Aa}	168.20±40.67 ^{Aa}
30	134.04±34.26 ^{Ab}	146.83±25.67 ^{Ab}	166.02±23.37 ^{Ab}	160.39±25.67 ^{Aa}	166.81±28.50 ^{Aa}
50	127.34±16.10 ^{Ab}	140.63±25.42 ^{Ab}	149.14±21.12 ^{Ab}	154.81±29.33 ^{Aa}	158.73±35.24 ^{Aa}
70	129.55±17.04 ^{Bb}	137.08±28.60 ^{ABb}	145.76±18.10 ^{ABb}	146.82±25.96 ^{ABa}	161.21±18.00 ^{Aa}
90	125.29±15.14 ^{Bb}	136.20±20.08 ^{ABb}	141.09±19.78 ^{ABb}	150.34±19.79 ^{Aa}	153.51±18.89 ^{Aa}

由表2可以看出，肠衣穿刺力也随贮藏时间延长而降低，但仅在开始第5天的低盐分组降低明显（ $P < 0.05$ ），之后到第90天虽然有较大下降，但随时间变化的差异一直不显著（ $P > 0.05$ ）。通过不同盐分组的对比也发现盐含量增加有助于抑制穿刺力的降低，但贮藏前期不同盐分组间穿刺力差异不显著（ $P > 0.05$ ）。虽然在贮藏90 d后高盐分与低盐分实验组间穿刺力有了显著差异（ $P < 0.05$ ），但其实际差别依然不大，这说明贮藏盐分的改变并没有对穿刺力产生明显影响。Bakker等^[22]认为这与肠衣自身力学性质差异有关，其研究显示尽管肠衣破裂力有所下降，但改变温度、添加食品级添加剂及延长贮藏时间均未对破裂压力产生显著影响。

2.3 不同盐分贮藏条件下天然肠衣挥发性盐基氮含量的变化

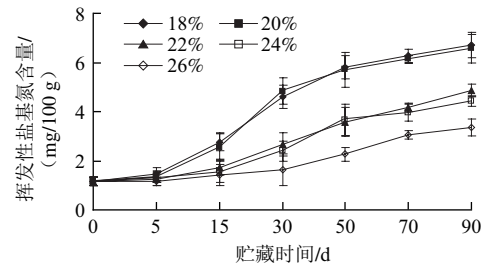


图1 不同盐分条件下天然肠衣挥发性盐基氮含量的变化
Fig.1 Changes in total volatile nitrogen value of natural hog casings at different salinity levels

由图1可知，各实验组挥发性盐基氮含量在整个贮藏过程中均持续增加，且随时间变化差异显著（ $P < 0.05$ ）。18%和20%的实验组贮藏5 d后挥发性盐基氮含量便开始迅速上升，90 d后从最初1.16 mg/100 g分别增加到6.72 mg/100 g和6.57 mg/100 g，而22%、24%和26%的实验组分别在贮藏15、15、30 d后挥发性盐基氮含量上升才开始加速。这说明盐分的增加抑制了挥发性盐基氮含量的上升，但由于肠衣自身蛋白酶的水解作用及贮藏后期一些蛋白质分解细菌产生的胞外蛋白酶，使得肠衣中蛋白质不断分解，并产生氨及胺类含氮物，最终造成挥发性盐基氮含量不断升高。18%与20%，22%与24%的盐分组挥发性盐基氮含量一直比较接近，但盐分增大为22%和26%时挥发性盐基氮含量又存在显著差异（ $P < 0.05$ ），这说明22%和26%的含盐量是2个临界点。参照GB 2707—2005《鲜（冻）畜肉卫生标准》对鲜（冻）畜肉中挥发性盐基氮的规定，各实验组贮藏90 d后挥发性盐基氮含量均在卫生许可范围内。

2.4 不同盐分贮藏条件下天然肠衣菌落总数的变化

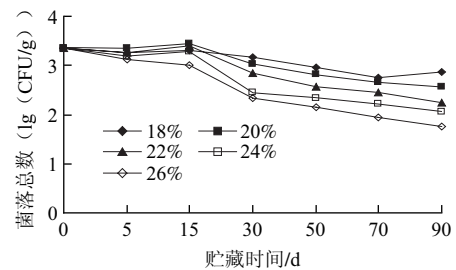


图2 不同盐分条件下天然肠衣菌落总数的变化
Fig.2 Changes in aerobic plate count of natural hog casings at different salinity levels

由图2可以看出，盐分的增加有助于抑制微生物的生长。贮藏前期，除26%盐分组外各组菌落总数都有一个先降低再增加后降低的过程，且第15天时达到最大值，这主要是由于前期盐液还没有完全渗透肠衣组织，

细菌的生长环境还相对温和。从第15~30天菌落总数下降明显,尤其是盐分含量为24%和26%实验组下降最为迅速,而30 d后下降速度逐渐放缓,说明此时大部分微生物已被杀灭。这与Wijnker等^[6]的研究结果一致,其研究显示,贮藏30 d后除产气荚膜梭菌外其他微生物均被灭活。而本研究证实,盐分含量大于24%时,30 d的持续贮藏足以消除大多数微生物的污染。此外,含盐量为18%和20%实验组贮藏90 d时菌落总数有略微增加,可能是由于后期一些微生物已经适应了生存环境,繁殖速度超过了死亡速度。

2.5 不同盐分贮藏条件下天然肠衣大肠菌群的变化

表3 不同盐分条件下天然肠衣大肠菌群最大可能数
Table 3 The most probable number of coliform bacteria per gram of natural hog casings at different salinity levels

含盐量/%	贮藏时间/d						个/g
	0	5	15	30	50	70	
18	27	<3	<3	<3	<3	<3	<3
20	27	<3	<3	<3	<3	<3	<3
22	27	<3	<3	<3	<3	<3	<3
24	27	<3	<3	<3	<3	<3	<3
26	27	<3	<3	<3	<3	<3	<3

由表3可知,新鲜样品肠衣携带有少量的大肠菌群,大肠菌群最大可能数(most probable number, MPN)值约为27 个/g,这高于Trigo等^[8]测定的新鲜肠衣大肠菌群初始MPN值7.55 个/g,主要是因为其实验肠衣是在-20℃贮藏的。但经过5 d的腌制后,各实验组均不再有大肠菌群检出,说明一定盐度条件下腌制5 d左右可将绝大多数大肠菌群杀灭。Bakker等^[22]的研究证明这是有可能的,他发现新鲜盐渍肠衣在20℃条件下腌制11 d时肠杆菌科的检测值低于1.5 (lg (CFU/g))。Chawla等^[10]也报道了室温贮藏的盐渍肠衣只在最初时检测到大肠杆菌的存在。最近的一则报道则认为牛至精油与Nisin协同处理能有效杀灭接种于肠衣的大肠杆菌^[23]。

2.6 不同盐分贮藏条件下天然肠衣乳酸菌的变化

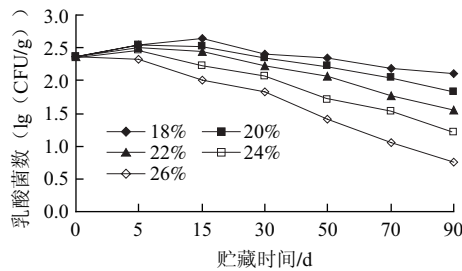


图3 不同盐分条件下天然肠衣乳酸菌的变化
Fig.3 Change in lactic acid bacteria of natural hog casings at different salinity levels

由图3可知,不同盐分条件下天然肠衣乳酸菌的变化总体呈先增高后降低的趋势。贮藏第5天时20%、22%

和24%的实验组均达到最大值,18%的实验组第15天达到最大值,26%的实验组一直是降低的趋势。说明盐水质量分数大于18%时就能够抑制乳酸菌的生长,且浓度越高效果越明显。纪凤娣等^[24]也认为盐分含量达到16%时才对乳酸菌有明显抑制作用,刘嘉等^[25]的研究表明,植物乳杆菌、短乳杆菌、罗伊氏乳杆菌、鼠李糖乳杆菌耐受食盐的最高质量浓度分别为4.8、4.8、5.5、6.0 g/100 mL。Lee等^[26]也证实盐分含量为20%时就可以抑制肠衣乳酸菌的生长。本实验结果显示,贮藏90 d后各实验组乳酸菌从最初的2.37 (lg (CFU/g)) 分别降低为2.10、1.82、1.55、1.21 (lg (CFU/g)) 和0.75 (lg (CFU/g))。因此,当盐分含量大于24%时,90 d的贮藏可以减少一半以上的乳酸菌污染。

3 结 论

天然肠衣在贮藏期间色泽和穿刺力均有所降低,但不同的贮藏盐分对其物理特性没有产生明显影响。肠衣挥发性盐基氮含量的变化与盐分含量有关,盐分越高挥发性盐基氮含量增加越小,贮藏期内各实验组挥发性盐基氮含量均未超标。当盐分含量大于24%时腌制30 d就能杀灭大多数微生物,并促使肠衣菌落总数和乳酸菌总数不断下降。肠衣在质量分数为22%及以上的盐水中贮藏90 d,质量品质不会发生明显变化。然而,实际生产的应用还需更进一步研究。

参考文献:

[1] RIHA W E, SOLBERG M. Microflora of fresh pork sausage casings. 2. Natural casings[J]. Journal of Food Science, 1970, 35(6): 860-863.

[2] SAKATA R, SEGAWA S, MORITA H, et al. Tenderization of hog casings-application of organic acids and proteases[J]. Fleischwirtschaft International, 1998, 4: 20-21.

[3] NISHIUMI T, SAKATA R. Histological and biochemical evaluation of connective tissue of natural hog and sheep casings[C]. Proceedings of the 45th International Congress of Meat Science and Technology, 1999: 174-175.

[4] GABIS D A, SILLIKER J H. Salmonella in natural animal casings[J]. Applied Microbiology, 1974, 27(1): 66-71.

[5] HOUBEN J H. A survey of dry-salted natural casings for the presence of *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* and sulphite-reducing *Clostridium* spores[J]. Food Microbiology, 2005, 22: 221-225.

[6] WIJNKER J J, KOOP G, LIPMAN L J A. Antimicrobial properties of salt (NaCl) used for the preservation of natural casings[J]. Food Microbiology, 2006, 23: 657-662.

[7] ZAIKA L L. Influence of NaCl content and cooling rate on outgrowth of *Clostridium perfringens* spores in cooked ham and beef[J]. Journal of Food Protection, 2003, 66: 1599-1603.

[8] TRIGO M J, FRAQUEZA M J. Effect of gamma radiation on microbial population of natural casings[J]. Radiation Physics and Chemistry, 1998, 52(16): 125-128.

[9] BYUN M W, LEE J W, JO C, et al. Quality properties of sausage made with gamma-irradiated natural pork and lamb casing[J]. Meat Science, 2001, 59: 223-228.

- [10] CHAWLA S P, CHANDER R, SHARMA A. Safe and shelf-stable natural casing using hurdle technology[J]. Food Control, 2006, 17: 127-131.
- [11] WIJNKER J J, WEERTS E A W S, BREUKINK E J. Reduction of *Clostridium sporogenes* spore outgrowth in natural sausage casings using nisin[J]. Food Microbiology, 2011, 28: 974-979.
- [12] BEN-HAMMOU F, SKALI S N, IDAOMAR M, et al. Combinations of nisin with salt (NaCl) to control *Listeria monocytogenes* on sheep natural sausage casings stored at 6 °C[J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(8): 1190-1195.
- [13] BARROS J R, KUNIGK L, JURKIEWICZ C H. Incorporation of nisin in natural casing for the control of spoilage microorganisms in vacuum packaged sausage[J]. Brazilian Journal of Microbiology, 2010, 41: 1001-1008.
- [14] 葛庆丰, 崔保威, 于海, 等. 不同抗氧化剂及其复配对天然肠衣色泽品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(11): 81-85.
- [15] SANTOS E, MÜLLER C M O, LAURINDO J B, et al. Technological properties of natural hog casings treated with surfactant solutions[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 89: 17-23.
- [16] HOUBEN J H, BAKKER W A M, KEIZER G. Effect of trisodium phosphate on slip and textural properties of hog and sheep natural sausage casings[J]. Meat Science, 2005, 69: 209-214.
- [17] MADHWARAJ S, NAIR K K S, NAIR P R, et al. Preservation of salted casings[J]. Journal of Food Science and Technology-India, 1980, 17: 273-275.
- [18] RADHAKRISHNAN K T, RAMAMURTHI R. Studies on the quality of hog casings treated with chemicals[J]. Cheiron, 1987, 16: 123-124.
- [19] WIJNKER J J, TJEERDSMAJ-van BOKHOVEN J L, VELDHUIZEN E J. Phosphate analysis of natural sausage casings preserved in brines with phosphate additives as inactivating agent: method validation[J]. Meat Science, 2009, 81: 245-248.
- [20] BENLI H, HAFLEY B S, KEETON J T, et al. Biomechanical and microbiological changes in natural hog casings treated with ozone[J]. Meat Science, 2008, 79: 155-162.
- [21] 张太平, 李筱影. 抑制盐渍猪肠衣色变方法的研究[J]. 食品科学, 1987, 8(6): 39-43.
- [22] BAKKER W A M, HOUBEN J H, KOOLMEES P A, et al. Effect of initial mild curing, with additives, of hog and sheep sausage casings on their microbial quality and mechanical properties after storage at difference temperatures[J]. Meat Science, 1999, 51: 163-174.
- [23] BEN-HAMMOU F, SKALI S N, IDAOMAR M, et al. The antimicrobial effect of *Origanum compactum* essential oil, nisin and their combination against *Escherichia coli* in tryptic soy broth (TSB) and in sheep natural sausage casings during storage at 25 and 7 °C[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(10): 15998-16005.
- [24] 纪凤娣, 籍保平, 李博, 等. 蔬菜盐渍过程中微生物分布的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(7): 107-110.
- [25] 刘嘉, 蒋芳芳, 范琳, 等. 辣椒素对辣椒发酵中乳酸菌的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(3): 190-193.
- [26] LEE K T, KIM H R, KATAOKA K. Studies on the preparation and utilization of hog small intestine II. Effect of salting level on the quality characteristics of small casings[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Science, 1994, 7(4): 523-526.