

群体感应信号肽介导的产细菌素乳杆菌在发酵肠中的应用

李军 张旭 马长伟 李平兰*

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083)

摘要 为了解受群体感应信号肽介导的产细菌素乳杆菌作为发酵剂的潜力,以前期研究获得的1株 *Lactobacillus paraplantarum* L-ZS9 菌株为研究对象,*L. plantarum* L-Y9 为对照,将 *L. paraplantarum* L-ZS9 + AIP(信号肽)、*L. paraplantarum* L-ZS9 和 *L. plantarum* L-Y9 分别复配商用木糖葡萄糖球菌制备发酵香肠,测定不同发酵剂条件下各组香肠的微生物指标、理化指标和感官指标。结果表明:L-ZS9 + AIP 组效果最佳,与 L-Y9 组有显著差异($P < 0.05$),但与 L-ZS9 组差异并不明显($P > 0.05$)。L-ZS9 作为发酵剂能够更迅速启动发酵,较好地抑制肠杆菌的生长,及丙二醛(MDA)的增加,同时提高发酵香肠的感官品质。

关键词 类植物乳杆菌;肉品发酵剂;群体感应;发酵香肠

中图分类号 TS 201.1

文章编号 1007-4333(2015)06-0256-07

文献标志码 A

Lactobacillus paraplantarum producing AIP-regulated bacteriocin as starter cultures for fermented sausages

LI Jun, ZHANG Xu, MA Chang-wei, LI Ping-lan*

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

Abstract In order to acknowledge the potential of bacteriocins-producing bacteria, a quorum sensing process regulated by AIP, *Lactobacillus paraplantarum* L-ZS9 obtained in previous study was adopted as study object, *L. plantarum* L-Y9 was used as control. *L. paraplantarum* L-ZS9 + AIP, *L. paraplantarum* L-ZS9 and *L. plantarum* L-Y9 were used as starter in fermented pork meat sausages mixed with commercial *Staphylococcus xylosum*. The microbiology, chemical and sensory indexes of fermented sausages with different starters were measured. The results showed that: L-ZS9 + AIP as meat starter was better than L-ZS9 ($P > 0.05$) and L-Y9 ($P < 0.05$); when L-ZS9 was used as starter culture, it can better inhibit the growth of *Enterobacteria*, slow down the increase of MDA and improve product sensory quality.

Key words *Lactobacillus paraplantarum*; meat starter; quorum sensing; fermented sausages

发酵香肠是一种即食食品,产品具有较低的 pH(4.5~5.0)和水分活度(< 0.9),较低的 pH 和水分活度能够抑制病原菌的生长,从而有效地控制杂菌^[1]。发酵剂在发酵过程中为优势菌,影响最终产品的感官、营养、安全性和其他重要指标^[2]。香肠发酵及成熟过程中的菌株主要是乳酸菌和革兰氏阳性球菌,如乳杆菌和葡萄球菌^[3-4]。目前常用的乳酸菌主要有弯曲乳杆菌、清酒乳杆菌和植物乳杆菌。研究表明,与普通乳酸菌发酵剂相比,产细菌素的乳

酸菌可以更加有效地控制发酵过程中腐败菌及病原菌的生长^[5],如 *Lactobacillus sakei*^[6], *L. rhamnosus* 和 *L. plantarum*^[7] 作为发酵香肠的发酵剂时,对有害菌均有较好的控制作用。

已有研究证明乳酸菌细菌素的产生受群体感应系统的调控^[8-12]。群体感应(Quorum sensing, QS)是指细菌能自发产生、释放一些特定的信号分子,并感知其浓度变化,是细菌进行菌间交流及对外界环境变化作出反应的重要机制。调控细菌素合成的群

收稿日期:2015-01-19

基金项目:“十二五”农村领域国家科技计划项目(2011AA100805);国家自然科学基金项目(31071591)

第一作者:李军,硕士研究生,E-mail:lijun900330@126.com

通讯作者:李平兰,教授,主要从事食品微生物学研究,E-mail:lipinglan@cau.edu.cn

体感应系统包含3个组分：编码自诱导肽(AIP)，即信号肽，跨膜的组氨酸蛋白激酶(HPK)和感应调节蛋白(RR)^[13]。可以通过群体感应调控系统进一步控制乳酸菌细菌素的合成，例如通过外源添加信号分子或改变信号分子的浓度来调控细菌素产生的时间及产量，从而使乳酸菌能够更好地应用于食品防腐领域中。

本试验拟以 *L. plantarum* L-Y9 为对照，将 *L. paraplantarum* L-ZS9 + AIP 和 *L. paraplantarum* L-ZS9 作为发酵剂应用于发酵香肠，将微生物指标、理化指标和感官指标作为考核指标，探讨受群体感应系统调控的产细菌素的乳杆菌 L-ZS9 作为新型发酵剂的实际效果，以期为今后工业化发酵香肠的优质生产提供研究基础和理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

菌株：*L. paraplantarum* L-ZS9 和 *L. plantarum* L-Y9，本实验室保藏；*Staphylococcus xylosus* CICC 21445，购于中国工业微生物菌种保藏管理中心。

总菌落计数培养基(PCA)：胰蛋白胨 5.0 g、酵母浸粉 2.5 g、葡萄糖 1.0 g、琼脂 15.0 g、蒸馏水 1 L，pH 6.8~7.2，121 °C 灭菌 20 min 备用。

乳酸菌计数培养基(MRS)：蛋白胨 10.0 g、牛肉膏 10.0 g、酵母膏 5.0 g、柠檬酸氢二铵 2.0 g、葡萄糖 20.0 g、吐温 80 1.0 mL、乙酸钠 5.0 g、磷酸氢二钾 2.0 g、硫酸镁 0.58 g、硫酸锰 0.25 g、琼脂 15.0 g、蒸馏水 1 L，pH 6.5~7.0，121 °C 灭菌 20 min 备用。

木糖葡萄球菌计数培养基(MSA)：牛肉浸膏 1.0 g、月示胨 10.0 g、D-甘露糖 10.0 g、NaCl 75.0 g、酚红 0.025 g、琼脂 15.0 g、蒸馏水 1 L，pH 7.2~7.6，121 °C 灭菌 15 min 备用。

肠杆菌计数培养基(VRBGA)：蛋白胨 7.0 g、酵母浸粉 3.0 g、NaCl 5.0 g、中性红 0.03 g、胆盐 1.5 g、结晶紫 0.002 g、乳糖 10.0 g、琼脂 15.0 g、蒸馏水 1 L，pH 7.3~7.5，煮沸灭菌 2 min，冷却备用。

药品试剂：Plantaricin A (KSSAYSLQMGATAIKQVKKLFKKWG) 由吉尔生化(上海)有限公司人工合成；氯化钠、葡萄糖、氧化镁、硼酸均为分析纯；0.010 mol/L 的盐酸标准溶液；甲基红和亚甲基蓝指示剂现用现混合。

猪肉和肠衣购于北京市海淀区学清路美廉美连锁超市。

1.2 仪器与设备

SWC7-1F 超净工作台，苏州安泰空气技术有限公司；BL-50A 立式压力蒸汽灭菌器，上海博讯实业有限公司医疗设备厂；THL-20M 台式高速冷冻离心机，长沙平凡仪表有限公司；LGJ-12 冷冻干燥机，北京松源华兴发展有限公司；DNP-9162 电热恒温培养箱，上海精宏实验设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 生产工艺

原料肉→切丁→斩拌→加入腌制剂和发酵剂→灌肠→发酵(温度 25 °C，湿度 90%，发酵时间 3 d)→成熟(温度 15 °C，湿度 70%)。加工后第 0、1、3、7、14 和 21 天取样测定。

试验处理：L-Y9 组，菌株 L-Y9 + 木糖葡萄球菌；L-ZS9 组，菌株 L-ZS9 + 木糖葡萄球菌；L-ZS9 + AIP 组，菌株 L-ZS9 + AIP + 木糖葡萄球菌。菌株的接种量均为 10⁷ CFU/g，AIP 添加量为 5 ng/g^[10]。

1.3.2 微生物指标测定

无菌条件下，去掉发酵香肠肠衣，称取 5 g 样品，切碎，加入到 45 mL 无菌生理盐水中，震荡均匀后进行 10 倍梯度稀释，选取 3 个合适的梯度进行平板菌落计数(表 1)，所选梯度重复 3 次。

表 1 发酵香肠微生物分析方法

Table 1 Analysis methods of microbial flora of fermented sausages

微生物 Microorganism	培养基 Medium	培养温度/°C Temperature	培养时间/h Time
菌落总数 Total viable counts	PCA	30	48
乳酸菌 Lactic acid bacteria colony counts	MRS	37	48
木糖葡萄球菌 Staphylococcus colony counts	MSA	30	48
肠杆菌 Enterobacteria colony counts	VRBGA	37	48

1.3.3 理化指标测定

pH:称取5 g样品于45 mL无菌生理盐水中,震荡均匀,静置沉降,过滤,使用校准后的PB-10型酸度计测定各组样品的pH。

水分活度:使用TESTO 650水分活度仪进行测定。

丙二醛:取样后进行均质,使用南京建成公司丙二醛(MDA)测试盒进行测定。

1.3.4 感官指标测定

色泽:发酵香肠取样,切成1 cm厚的圆柱形切片,立即使用全自动色差仪ADCI-60-C进行测定

(测定前先对色差仪进行校准),记录样品的亮度值 L^* ,红度值 a^* 及黄度值 b^* ,每组样品重复3次。

质构:使用CT3质构仪对不同处理的发酵香肠进行测定分析。测定时,取样品中心部位,切成1 cm×1 cm×1 cm的立方体进行测定。测定条件:压缩比40%,测定速度1 mm/s,室温条件下进行。每组样品重复3次。

感官评价:将各组香肠切成0.5 cm厚的均一薄片,选取10名有感官评定基础的实验人员对发酵香肠的组织状态、色泽、风味和口感进行评分。评分标准见表2。

表2 发酵香肠的感官评定标准

Table 2 Sensory evaluation standards of fermented sausages

评分 Score	组织状态 Texture	色泽 Colour	风味 Flavor	口感 Taste
≥1~4	松散,粗糙,切片性差。	颜色暗淡。	异味或过酸。	过软或过硬。
>4~6	质地较为均一,切片性较好。	有一定光泽。	有一定香味,酸度适中。	有一定的弹性。
>6~9	质地均一,有硬实感,切片性好。	颜色鲜艳饱满。	香气浓郁,酸度柔和。	弹性较好,硬度适中。

1.3.5 数据分析

采用SPSS17.0软件对试验数据进行处理分析,置信度为95%($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 发酵香肠微生物指标的测定

2.1.1 总菌落数的变化

3个不同处理组总菌落数在第0~7天随着时间的延长而增大(图1),均在第7天达到最大值,其中L-ZS9+AIP组为 9.3×10^8 CFU/g、L-ZS9组为 8.5×10^8 CFU/g和L-Y9组为 8.0×10^8 CFU/g;随

后由于优势菌株乳酸菌的数量下降使得各组总菌落数呈下降趋势。对比3个不同处理组,从第3天开始,L-ZS9+AIP组的总菌落数大于L-ZS9组和L-Y9组,到成熟期结束时,L-ZS9+AIP组总菌落数显著高于L-Y9组($P<0.05$),与L-ZS9组无明显差异($P>0.05$)。

2.1.2 乳酸菌数的变化

本试验中乳酸菌的初始接种量为 10^7 CFU/g,各处理组的乳酸菌起始值均在 10^7 CFU/g左右(图2),且无显著性差异($P>0.05$),符合预设接种

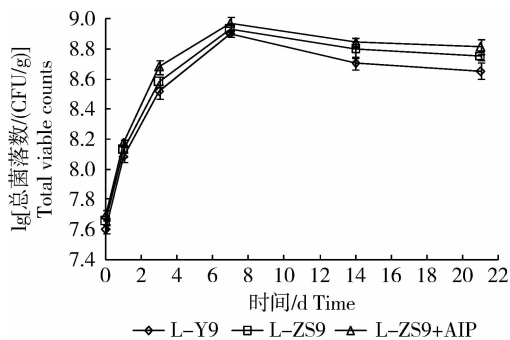


图1 各处理组发酵香肠总菌落数的变化

Fig. 1 Changes of total viable counts in fermented sausages

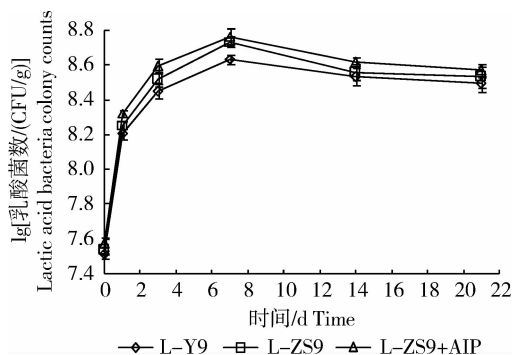


图2 各处理组发酵香肠乳酸菌菌落数的变化

Fig. 2 Changes of Lactic acid bacteria colony counts in fermented sausages

量。试验初期乳酸菌数量随时间的延长迅速增大, 各组均在第 7 天达到最大值, L-ZS9 + AIP 组、L-ZS9 组和 L-Y9 组的乳酸菌数最大值分别为 6.5、5.7 和 4.5×10^8 CFU/g; 随后略微下降。

由图 1 和图 2 可以看出: 无论以哪个菌株为发酵剂, 各组的乳酸菌数和总菌落数均有相同的变化趋势; 在发酵期间和成熟期间, 各组乳酸菌数占总菌数的一半以上, 说明乳酸菌在香肠的发酵及成熟过程中为优势菌, 从而证明乳酸菌已成功启动发酵, 并主导发酵的进程^[6]。

2.1.3 木糖葡萄球菌的变化

各处理组发酵香肠木糖葡萄球菌数的变化见图 3。在第 0~7 天, 3 组发酵香肠的木糖葡萄球菌数呈下降趋势; 在第 7~21 天, 各组木糖葡萄球菌数开始缓慢增加。其原因是由于试验初期乳酸菌为优势菌, 生长速度快, 导致发酵香肠的 pH 快速下降, 同时肠体内的氧含量降低^[14], 使得环境不利于木糖葡萄球菌的生长; 当随着时间的延长, 乳酸菌的生长速度下降, 使得发酵香肠的 pH 回升(图 5), 有利于木糖葡萄球菌的生长。

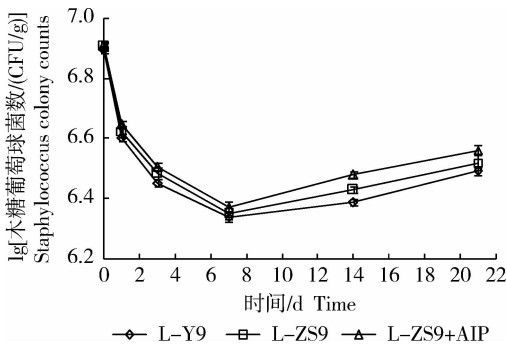


图 3 各处理组发酵香肠木糖葡萄球菌数的变化
Fig. 3 Changes of Staphylococcus colony counts in fermented sausages

2.1.4 肠杆菌数的变化

3 组发酵香肠中, L-ZS9 + AIP 组中的肠杆菌数迅速下降, 到第 14 天未检出肠杆菌; L-ZS9 组和 L-Y9 组则在第 21 天未检出(图 4)。因此可知: L-ZS9 + AIP 组处理效果优于其他 2 组; 各组发酵剂均可以较好的控制肠杆菌生长, 保证产品的安全性。由于 L-ZS9 菌株在发酵过程中产生细菌素, 从而能够更好地抑制肠杆菌等有害菌的生长, L-ZS9 组的肠杆菌数低于 L-Y9 组(图 4) ($P > 0.05$)。

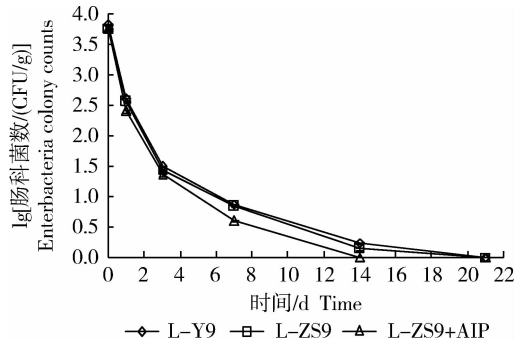


图 4 各处理组发酵香肠肠杆菌数的变化
Fig. 4 Changes of Enterobacteria colony counts in fermented sausages

2.2 发酵香肠理化指标的测定

2.2.1 pH

3 个处理组的 pH 在发酵期间迅速下降, 进入成熟期后稍有升高(图 5)。在试验期间, L-Y9 组的 pH 始终低于 L-ZS9 + AIP 组和 L-ZS9 组, 但肠杆菌未检出的时间较长。其原因是虽然 L-Y9 菌株的产酸能力优于 L-ZS9, 但 L-ZS9 菌株所产的乳酸和细菌素对肠科菌的抑制作用更为明显。因此可以推断: L-ZS9 所产细菌素及乳酸对肠科菌的协同抑制效果优于 L-Y9 所产乳酸对肠科菌的抑制效果。

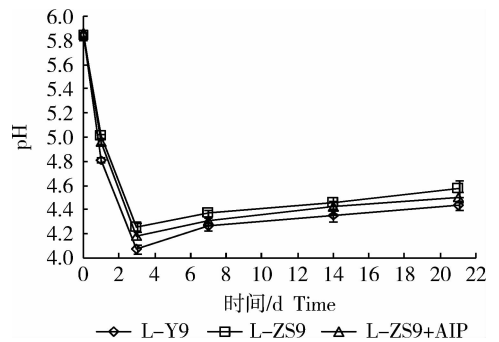


图 5 各处理组发酵香肠 pH 的变化

Fig. 5 Changes of pH in fermented sausages

2.2.2 水分活度

各处理组水分活度的变化见图 6。试验初期香肠放置于湿度为 90% 的高湿度培养箱中, 水分活度无明显下降; 随着时间延长发酵进行到第 3 天, 即开始进入成熟期, 发酵香肠的水分活度迅速降低, 这是因为此时发酵香肠所处的环境湿度仅为 70%, 远小于发酵期的 90%, 导致游离水散失, 所以此时水分活度降低的速度加快。

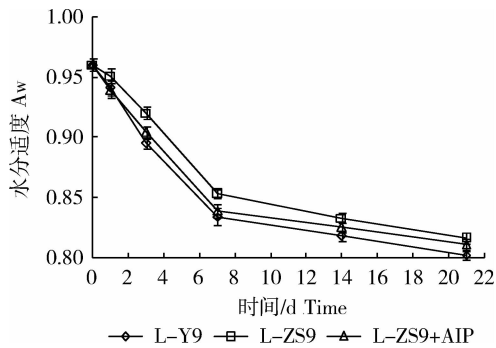


图6 各处理组发酵香肠水分活度的变化

Fig. 6 Changes of Aw value in fermented sausages

2.2.3 丙二醛(MDA)质量分数的测定

香肠在发酵过程中脂质过氧化会产生有害物质,对发酵香肠的安全性和感官品质有重要影响^[15],其中丙二醛质量分数可以衡量发酵香肠中脂肪氧化酸败程度。3个不同处理组丙二醛质量分数的变化见图7。试验期间,各个处理组中丙二醛质量分数均逐渐增大,且在第0~7天内增速较快,7 d后增加速度减缓。分析原因是成熟期的环境温度仅为15℃,远低于发酵期的温度30℃,导致丙二醛质量分数增加的速度开始降低。第21天,L-ZS9+AIP组和L-ZS9组丙二醛质量分数均低于L-Y9组,这是因为L-Y9菌株在发酵过程中产生的过氧化氢酶量低于L-ZS9菌株,因而不能有效减少过氧

化物,醛酮类物质的产生,导致其抑制脂肪氧化酸败的能力低于L-ZS9菌株。

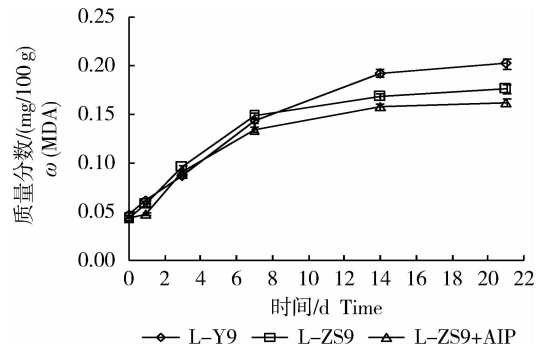


图7 各处理组发酵香肠丙二醛质量分数的变化

Fig. 7 Changes of MDA contents in fermented sausages

2.3 发酵香肠感官指标的测定

2.3.1 色泽

本试验运用色差仪对各组发酵香肠的亮度值 L^* 、红度值 a^* 和黄度值 b^* 进行测定。色差仪可以在短时间内快速评定大量样品的色泽,同时更具有客观性和稳定性。

在香肠发酵和成熟过程中,3个不同处理组的 L^* 值先增大,后减小(表3)。 L^* 值的变化主要是受水分含量的影响,分析原因是香肠发酵开始后肠体内部的水分逐渐扩散到表面,水分分布均匀使 L^* 值增大,后期由于成熟期间环境湿度较低,使得香肠

表3 发酵香肠色泽的变化

Table 3 Colour changes of fermented sausages

指标 Indicators	处理 Treatments	时间/d Time				
		1	3	7	14	21
L^*	L-Y9	31.09±0.16 b	49.26±0.04 c	47.05±0.23 b	46.17±0.07 c	45.01±0.23 b
	L-ZS9	31.45±0.06 ab	49.83±0.05 b	47.56±0.16 b	46.82±0.30 b	45.98±0.25 ab
	L-ZS9+AIP	32.05±0.24 a	50.60±0.02 a	48.49±0.20 a	47.40±0.01 a	46.64±0.18 a
a^*	L-Y9	9.01±0.26 a	12.77±0.68 c	17.44±0.48 b	16.67±0.49 b	15.10±0.62 b
	L-ZS9	9.17±0.06 a	14.28±0.45 a	16.42±0.06 c	15.71±0.14 c	15.22±0.17 ab
	L-ZS9+AIP	9.11±0.23 a	13.40±0.24 b	18.63±0.09 a	17.24±0.55 a	15.61±0.44 a
b^*	L-Y9	9.96±0.11 a	7.87±0.05 a	7.07±0.07 ab	6.78±0.02 a	4.79±0.40 a
	L-ZS9	9.70±0.12 ab	7.27±0.17 b	7.33±0.21 a	6.95±0.14 a	4.37±0.27 ab
	L-ZS9+AIP	9.20±0.31 b	7.91±0.19 a	6.70±0.15 b	6.73±0.02 a	4.20±0.07 b
a^*/b^*	L-Y9	0.90±0.33 a	1.62±0.04 a	2.47±0.06 ab	2.46±0.17 a	3.15±0.52 b
	L-ZS9	0.95±0.09 a	1.96±0.12 a	2.24±0.11 b	2.26±0.45 a	3.48±0.12 ab
	L-ZS9+AIP	0.99±0.25 a	1.69±0.08 a	2.78±0.13 a	2.56±0.51 a	3.72±0.03 a

注:同一列不同字母表示 $P=0.05$ 水平差异显著,下表同。

Note: Values followed by the same letters in each column are not significantly different at 0.05 level from each other according to Duncan Test. The same as infollowing table.

水分活度降低,导致香肠表面含水量下降。从水分活度(图 6)变化趋势可知,L-Y9 组水分流失较快,因而其 L^* 值明显低于其他 2 组。3 个处理组的 a^* 值随着发酵和成熟的进行先增大,后减小。 a^* 值后期的减小则是由于微生物对肌纤维色素的降解,而 b^* 值始终在下降。但发酵香肠的色泽评价不仅仅依靠 a^* 值的变化,黄度值 b^* 对其有很大影响,所以本试验通过 a^*/b^* 值来评价香肠的颜色,该比值越大说明香肠的颜色越鲜艳,到第 21 天,L-ZS9+AIP 组颜色比 L-Y9 组明显鲜艳($P<0.05$),与 L-ZS9 组无显著性差异。

2.3.2 质构

在乳酸菌的发酵过程中,发酵香肠体系的 pH 和水分活度均发生明显改变,同时微生物的分解作

用,使得香肠的质地发生明显改变。目前发酵香肠生产中的一个重要问题是产品口感较干,比较难咀嚼。本试验将发酵香肠的硬度、弹性和咀嚼性作为考核指标,综合评价发酵香肠^[16]。

3 个处理组发酵香肠硬度、弹性、咀嚼性随着时间的变化见表 4。随着发酵和成熟的进行,各处理组发酵香肠的硬度、弹性和咀嚼性均呈增大的趋势,这是因为乳酸菌产酸使得发酵香肠体系的 pH 明显下降,导致蛋白质的变性,从而降低了发酵香肠的含水量。L-Y9 组硬度显著高于 L-ZS9 组($P<0.05$)和 L-ZS9+AIP 组($P<0.05$),其原因是香肠水分散失过快,且弹性低于其他两组,因而 L-Y9 组的发酵香肠质地较干,较硬,比较难咀嚼。

表 4 发酵香肠质构的变化
Table 4 TPA changes of fermented sausages

指标 Indicators	处理 Treatments	时间/d Time				
		1	3	7	14	21
硬度/g Hardness	L-Y9	347±4.31 a	467±12.02 a	689±6.25 a	978±13.22 a	806±7.66 a
	L-ZS9	365±7.58 a	424±6.11 a	657±11.01 ab	919±8.45 ab	769±4.79 b
	L-ZS9+AIP	316±11.21 a	435±3.98 a	626±3.78 b	876±11.14 b	755±2.95 b
弹性/mm Elasticity	L-Y9	2.89±0.21 a	3.11±0.08 a	2.80±0.33 b	2.74±0.14 a	2.83±0.16 a
	L-ZS9	3.02±0.13 a	3.06±0.41 a	3.20±0.08 a	3.10±0.16 a	3.07±0.17 ab
	L-ZS9+AIP	3.04±0.28 a	3.19±0.05 a	3.13±0.47 a	3.09±0.30 a	3.04±0.28 ab
咀嚼性/mJ chewiness	L-Y9	19.0±0.09 a	48.6±0.15 a	69.3±0.21 ab	132.1±0.09 b	154.7±0.33 c
	L-ZS9	19.6±0.47 a	46.5±0.21 b	68.1±0.11 b	136.6±0.27 a	160.7±0.07 b
	L-ZS9+AIP	19.1±0.31 a	48.8±0.43 a	71.5±0.16 a	136.8±0.19 a	164.3±0.12 a

2.3.3 感官评价

发酵香肠乳酸菌发酵剂的筛选标准^[17-18]是产酸快,无大量气体产生,不产生粘液,能够赋予发酵产品发酵风味。根据感官评定标准(表 2),综合考虑发酵香肠组织状态、色泽、风味和口感(表 5),L-ZS9 为发酵剂的 2 组总体感官优于 L-Y9 组。L-Y9 菌

株虽然能够正常的启动发酵进程,快速产酸降低香肠的 pH,但其发酵香肠的硬度过高,颜色较暗淡,酸味过于刺激,风味和口感较差,因此 L-ZS9 菌株无论在保证香肠的安全性方面还是感官指标方面都优于 L-Y9,符合发酵香肠乳酸菌发酵剂的筛选标准,有较好的应用前景。

表 5 发酵香肠的感官评定结果
Table 5 Sensory evaluation of fermented sausages

处理 Treatments	组织状态 Texture	色泽 Colour	风味 Flavor	口感 Taste
L-Y9	4.7±0.13 b	6.8±0.24 b	4.2±0.32 b	4.7±0.08 b
L-ZS9	7.4±0.37 a	8.0±0.06 ab	8.4±0.27 a	8.2±0.11 a
L-ZS9+AIP	7.8±0.22 a	8.6±0.24 a	8.6±0.31 a	8.6±0.05 a

3 结 论

1) 微生物测定结果表明, L-ZS9 和 L-Y9 菌株作为发酵剂均能正常启动发酵, 且在发酵进程中始终是优势菌; 与 L-Y9 相比, L-ZS9 菌株能更好地适应环境。综合肠杆菌指标, L-ZS9 组肠杆菌的数量始终低于 L-Y9 组, 且其肠杆菌的未检出时间也短于 L-Y9 组, 这是因为 L-ZS9 能够在发酵过程中产生细菌素, 通过与乳酸协同作用可以更好地抑制肠杆菌等杂菌的生长。同时, 由于 L-ZS9 是一株受群体感应系统调控的细菌素产生菌, 因此添加 AIP 的发酵香肠中 L-ZS9 菌株在产细菌素的时间和产量方面都有明显的优势, 对肠杆菌作用更明显, 肠杆菌未检出的时间更短。

2) 理化的测定结果表明, L-ZS9 菌株和 L-Y9 菌株均能快速降低发酵香肠的 pH, 且 L-Y9 菌株产酸能力更强。各处理组的水分活度随发酵和成熟的进行而减小, 且 L-Y9 组水分活度最低, 这说明 2 菌株可以保证其发酵香肠的品质及安全性; 均能够有效地减慢脂肪氧化。

3) 感官的测定结果表明, L-ZS9 作为发酵剂的发酵香肠其色泽明亮, 鲜艳, 弹性硬度适中, 有嚼劲, 且有很好的发酵香味, 均优于 L-Y9 组。

4) 综合发酵香肠的安全性和感官特性, L-ZS9 作为发酵剂较 L-Y9 有明显优势。

参 考 文 献

[1] Barbuti S, Parolari G. Validation of manufacturing process to control pathogenic bacteria in typical dry fermented products [J]. *Meat Science*, 2002, 62: 323-329

[2] Martin A, Colion B, Benito M J, et al. Characterization of *Micrococcaceae* isolated from Iberian dry-cured sausages [J]. *Meat Science*, 2007, 75: 696-708

[3] Raquel R, Teresa A, Sara B C, et al. Probiotic strains *Lactobacillus plantarum* 299V and *Lactobacillus rhamnosus* GG as starter cultures for fermented sausages [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 54: 51-56

[4] Arkoudelos J S, Samaras F, Nychas G J E. The occurrence of staphylococci on Greek fermented sausages [J]. *Fleischwirtschaft*, 1997, 77: 571-574

[5] Benkerroum N, Daoudi A, Hamraoui T, et al. Lyophilized

preparations of bacteriocinogenic *Lactobacillus curvatus* and *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* as potential protective adjuncts to control *Listeria monocytogenes* in dry-fermented sausages [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2005, 98: 56-63

[6] Liserre A M, Landgraf M, Destro M T, et al. Inhibition of *Listeria monocytogenes* by a bacteriocinogenic *Lactobacillus sake* strain in modified atmosphere-packaged Brazilian sausages [J]. *Meat Science*, 2002, 61: 449-455

[7] Työppönen S, Markkula A, Petäjä E, et al. Survival of *Listeria monocytogenes* in North European type dry sausages fermented by bioprotective meat starter cultures [J]. *Food Control*, 2003, 14: 181-185

[8] Saucier L, Poon A, Stiles M E. Induction of bacteriocin in *Carnobacterium piscicola* LV17 [J]. *Journal of Applied Bacteriology*, 1995, 78: 684-690

[9] Diep D B, Havarstein L S, Nes I F. A bacteriocin-like peptide induces bacteriocin synthesis in *Lactobacillus plantarum* C11 [J]. *Molecular Microbiology*, 1995, 18: 631-639

[10] Diep D B, Axelsson L, Grefslis C, et al. The synthesis of the bacteriocin sakacin A is a temperature-sensitive process regulated by a pheromone peptide through a three-component regulatory system [J]. *Microbiology*, 2000, 146: 2155-2160

[11] Eijsink V G, Brurberg M B, Middelhoven P H, et al. Induction of bacteriocin production in *Lactobacillus sake* by a secreted peptide [J]. *Journal of Bacteriology*, 1996, 178: 2232-2237

[12] O'Keefe T, Hill C, Ross R P. Characterization and heterologous expression of the genes encoding enterocin A production, immunity, and regulation in *Enterococcus faecium* DPC1146 [J]. *Journal of Applied Bacteriology*, 1999, 65: 1506-1515

[13] Nes I F, Eijsink V G H. Regulation of group II peptide bacteriocin synthesis by quorum-sensing mechanisms [J]. *American Society for Microbiology*, 1999, 81: 175-192

[14] 王敏. 发酵香肠及其发酵剂的研究进展 [J]. *江苏调味副食品*, 2013 (3): 4-8

[15] Yurong Gao, Dapeng Li, Xiaoyan Liu. Bacteriocin-producing *Lactobacillus sakei* C2 as starter culture in fermented sausages [J]. *Food Control*, 2014, 3: 1-6

[16] 郇延军, 闫晓蕾, 孙冬梅, 等. 核磁共振法研究山梨糖醇对发酵香肠的保水性和质构的影响 [J]. *食品科学*, 2013 (1): 22-26

[17] Mohammed S A, Baltasar M. Selected criteria for lactic acid bacteria to be used as functional starter cultures in dry sausages production: An update [J]. *Meat Science*, 2007, 76: 138-146

[18] 张旭, 赵斌, 张香美. 产细菌素乳酸菌的筛选及细菌素相关基因的分析 [J]. *中国农业大学学报*, 2013, 18 (4): 168-177