

海藻胶对熏煮香肠品质的影响研究

赵光辉, 赵改名, 田玮, 柳艳霞, 黄现青, 李苗云, 张秋会

(河南农业大学食品科学与技术学院, 河南省肉制品加工与质量安全控制重点实验室, 河南郑州 450002)

摘要: 研究了海藻酸钠 (0~2%)、K-卡拉胶 (0~1.5%)、琼脂 (0~1.5%) 对熏煮香肠质构、色泽、保水保油性等品质的影响, 并利用低场核磁共振探索其对水分迁移的效应。结果表明: 三种海藻胶均能提高产品的保油率, 均能降低产品的 L^* 和 T_2 弛豫时间, 琼脂对产品的出品率、保水率、质构、 a^* 和 b^* 均无显著影响 ($p>0.05$), 卡拉胶添加量为 0.6% 时产品的出品率最大, 添加量在 0~1.2% 范围内, 产品的硬度、脆性、咀嚼性呈上升趋势 ($p<0.05$), 但对弹性、内聚性无显著影响 ($p>0.05$), 海藻酸钠对产品的出品率有一定改善作用, 且随添加量的增加, 产品的 TPA 参数均呈下降趋势 ($p<0.05$), 但各个参数的下降程度不一样; 随着海藻酸钠和卡拉胶添加量的增加, 产品的 a^* 和 b^* 呈上升趋势 ($p<0.05$), 且不易流动水比例下降 ($p<0.05$), 自由水比例上升 ($p<0.05$), 而琼脂则正好相反。

关键词: 海藻胶; 质构; 色泽; 保水率; 保油率

文章编号: 1673-9078(2014)2-105-111

Effect of Algal Gel on Quality Characteristics of Smoked and Cooked Sausages

ZHAO Guang-hui, ZHAO Gai-ming, TIAN Wei, LIU Yan-xia, HUANG Xian-qing, LI Miao-yun, ZHANG Qiu-hui

(Henan Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Effects of sodium alginate(SA, 0~2%), K-carrageenan(KC, 0~1.5%) and agar(AG, 0~1.5%) on texture, color, water holding and fat holding of smoked and cooked sausages were evaluated. The three kinds of algal gels all improved the fat holding ratio of the products, reduced L^* -value and water activity. AG had no significant influences on product yield, water holding ratio, texture, a^* -value and b^* -value ($p>0.05$). The maximum product yield was achieved with addition of 0.6% KCl, and the hardness, chewiness and fracturability displayed upward trends within the amount of 0~1.2% ($p<0.05$), but had no significant effect on springiness and cohesiveness ($p>0.05$). SA played a certain role to improve product yield. With the increase of adding amount, the product of TPA parameters declined ($p<0.05$), but each parameter had different drop degree. For the SA and KC, with the increase of adding amount, a^* -value and b^* -value was increased ($p<0.05$), and the proportion of immobilized water decreased while the bulk water increased ($p<0.05$). The opposite results were found for AG.

Key words: algal gel; texture; color; water holding ratio; fat holding ratio

海藻胶是一类从天然海藻中提取的食品胶, 由于在增稠性、稳定性、保形性、胶凝性、薄膜成型性等方面具有显著的优点, 再加上其独特的保健功能, 在食品工业中得到广泛的应用。褐藻胶、卡拉胶、琼脂是目前世界上用途最为广泛的三大海藻胶^[1], 也是食品工业研究的焦点。国外早有人研究过海藻酸钠钙凝胶在重组肉制品中的应用, 发现海藻酸钠钙凝胶可以增强肉块之间的粘结性, 提高肉制品的质构特性^[2]。

收稿日期: 2013-09-22

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903012)

作者简介: 赵光辉(1986-), 女, 在读硕士研究生

通讯作者: 赵改名(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向为肉品加工与质量安全控制

国内罗阳等^[3]也做过海藻酸钠钙凝胶特性及其在低脂肉糜中的应用研究, 方红美等^[4]发现海藻酸钠可显著降低鸡肉凝胶的蒸煮损失。郭锐等^[5]研究发现在一定的冻融次数内, k-卡拉胶能改善反复冻融猪肉的食用品质, 提高香肠的出品率, Ayadi等^[6]发现卡拉胶对火鸡肉香肠的微观结构有改善作用, 杨玉玲等^[7]研究了k-型卡拉胶与肌球蛋白混合凝胶的机理。国内外关于琼脂在肉制品中的研究较少, 陈海华等^[8]研究发现琼脂可显著改善竹荚鱼鱼糜的凝胶特性, 而国外在制作罐头时, 常加入少量琼脂作为凝固剂。低场核磁共振技术(LF-NMR)是一种快速、无损检测技术, 目前在肉品科学中有着广泛的应用, Haiduc等^[9]发现NMR测得的横向弛豫时间可用来预测食品的品质特性并预

见其内部的微观结构, Sun^[10]等利用 NMR 研究了亚麻籽胶的添加水平对猪肉肌原纤维蛋白热诱导凝胶持水性的影响。目前国内关于海藻胶的研究多侧重对肉制品保水和质构特性的影响, 很少涉及对产品保油性的影响, 而且利用 NMR 研究食用胶对肉制品水分弛豫的影响, 至今鲜有报道。本文以熏煮香肠为载体, 研究海藻酸钠、K-卡拉胶、琼脂添加量对熏煮香肠质构特性、保水保油率、色差的影响, 并利用 NMR 检测其对产品中水分迁移的影响, 初步探讨海藻胶与肌肉蛋白的相互作用, 为海藻胶在肉制品中的应用提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验与试剂

猪后腿瘦肉、猪肥膘、白糖、食盐、味精、异抗坏血酸钠、复合磷酸盐、硝酸钠、亚硝酸钠、香辛料、海藻酸钠、卡拉胶、琼脂粉、6 路猪肠衣等均为市售。

1.2 主要仪器与设备

C12 型绞肉机, 韶关市新通力食品机械有限公司; JS14P-M 型斩拌机, 德力西集团有限公司; TA-XT2i 物性分析仪, 英国 SMS 公司; 灌肠机, 百诚润和机械有限公司; BYXX-50 型烟熏炉, 杭州艾博科技工程有限公司; PQ001 MicroMR 柜式核磁共振成像仪, 上海纽迈电子科技有限公司; Minolta Color Miniscan CR400 色差仪, 日本美能达公司。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程

原料肉选择→预处理→绞碎腌制→斩拌→灌制→烘烤→煮制→冷却→冷藏

1.3.2 海藻胶添加量

按猪肥膘、猪后腿瘦肉的质量比 (kg/kg) 设置 6 个水平: 海藻酸钠添加量 0、0.4%、0.8%、1.2%、1.6%、2.0%, 卡拉胶添加量 0、0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%, 琼脂粉添加量 0、0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%。海藻酸钠和卡拉胶以干粉添加, 琼脂粉用 4 倍质量的水浸泡 12 h 以上。

1.3.3 基础配方

以 1 kg 肉 (瘦肉:肥膘=4:1) 计, 复合硝酸盐 0.15 g, 食盐 25 g, 生姜粉 1.8 g, 白胡椒 2 g, 蔗糖 10 g, 八角粉 1 g, 异抗坏血酸钠 0.5 g, 小茴香粉 1 g, 大蒜末 1 g, 味精 5 g, 冰水 300 g (冰水比例根据季节进行调整), 复合磷酸盐 3 g。

1.3.4 操作要点

猪后腿瘦肉去筋膜、剔除可见脂肪, 和肥膘分别用 15 mm 孔板绞碎, 瘦肉加食盐、复合亚硝酸盐、异抗坏血酸钠拌匀, 肥膘加食盐, 分别拌匀后在 0~4 °C 下腌制 24 h, 用绞肉机 (φ6 mm 孔板) 把腌制好的肉分别绞碎, 瘦肉加入溶解的磷酸盐、白糖及部分碎冰于斩拌机中高速斩拌 1 min, 再加入复水的大组织蛋白、部分冰水高速斩拌 30s, 然后加入绞碎的肥膘再高速斩拌 30 s, 最后加入胶、调味料及剩余冰水先低速斩拌 30 s, 再高速斩拌 1 min。整个斩拌过程温度控制在 12 °C 以下。将肉馅送入灌肠机中灌制, 每节肠 15 cm 左右。烘烤温度控制在 65~68 °C 烘烤 60 min 左右, 烘烤结束后, 在水温 90 °C 时将肠入锅, 水温控制在 80~85 °C, 煮制 40 min。自然冷却至室温, 在 0~4 °C 下冷藏过夜。

1.4 检测指标

1.4.1 出品率 (PYR)

$$PYR/\% = \frac{m_1}{m_2} \times 100$$

注: m_1 为煮制后香肠产品质量/g (1.4.2-1.4.3 同); m_2 为灌制后生香肠质量/g (1.4.2-1.4.3 同)

1.4.2 保水率测定 (WHR)

按 GB9695.15-2008 直接干燥法进行, 测得香肠煮制后和烘烤前的水分含量 X_1 和 X_2 , 计算公式如下:

$$WHR/\% = \frac{m_1 \times X_1}{m_2 \times X_2} \times 100$$

1.4.3 保油率测定 (FHR)

按 GB9695.7-2008 方法进行, 测得香肠煮制后和烘烤前的脂肪含量 X_3 和 X_4 , 计算公式如下:

$$FHR/\% = \frac{m_1 \times X_3}{m_2 \times X_4} \times 100$$

1.4.4 质构测定

将冷藏过夜的样品在环境温度为 22 °C 的条件下平衡 1 h 左右, 采用 TA-XT2i 物性分析仪进行质构测试。测试方法为质构仪剖面分析法 (Texture Profile Analysis, TPA), 参数如下: P50 探头, 测前、测试和测后速度分别为 2.0、0.8 和 0.8 mm/s, 数据采集频率 200 pps, 2 次下压间隔时间为 5 s, 负载类型: 自动, 负载力: g, 压缩比 75%。样品规格: 直径 18 mm、高 14 mm 的圆柱体, 每个添加量测 9~10 个平行。

1.4.5 色差测定

将样品切成 1 cm 左右厚的薄片, 样本数为 10。室温下用 Minolta CR400 便携式色差仪进行测定, 测前仪器用标准白板校正。CIE L*、a*、b* 表示颜色坐

标, L*表示样品亮度, a*表示样品红度, b*表示样品黄度。

1.4.6 T₂ 弛豫时间测定

参照朱晓红等^[11]方法, 略做修改。T₂ 用 CPMG 序列测量, 参数为: 半回波时间为 150 μs, 重复采样 8 次, 重复采样 TR 时间为 1800 ms, Echocnt 为 8000。样品规格为直径 11 mm, 高度为 2 cm 的圆柱体。CPMG 指数衰减曲线用 Multi-Explnv Analysis 软件进行反演。

1.5 数据处理

采用 SPSS 16.0 对实验数据进行单因素方差分析, 邓肯氏新复极差法进行均值的多重比较及皮尔逊相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 海藻胶添加量对熏煮香肠出品率、保水率和保油率的影响

和保油率的影响

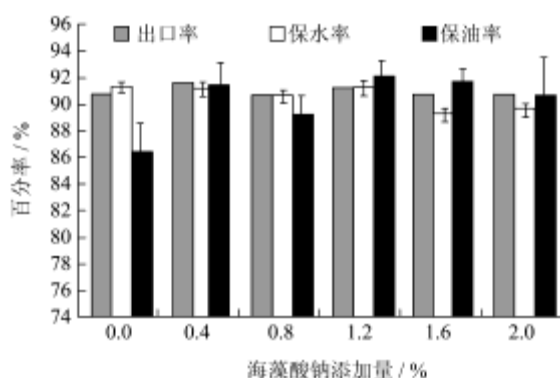


图 1 海藻酸钠添加量对熏煮香肠出品率、保水率和保油率的影响

Fig.1 Effect of sodium alginate addition on yield ratio, water holding ratio and fat holding ratio of smoked and cooked sausages

三种海藻胶对熏煮香肠出品率、保水率和保油率的影响如图 1~3 所示。由图 1 可见, 海藻酸钠(0~1.2%)可提高熏煮香肠的出品率, 这与冯美琴等人的研究结果一致^[12], 并能明显提高产品的保油率, 但添加海藻酸钠对香肠保水率无改善作用, 当添加量大于 1.6% 时甚至降低了产品的保水率。当海藻酸钠添加量为 0.4% 时, 产品的保水率低于空白组, 出品率大于空白组, 保油率也明显高于空白组, 可见熏煮香肠的出品率不仅与产品的保水性有关, 也与产品的保油率有很大关系。如图 2 所示, 卡拉胶可以明显提高熏煮香肠的出品率、保水率和保油率, 这与前人的研究结果一致^[13]。

由图 3 可知, 琼脂可明显提高熏煮香肠的保油率, 当添加量为 0.9% 以上时, 产品的出品率和保水率与空白相比均有所增加, 这与李珂昕等人的研究结果一致^[15]。三种海藻胶均能提高产品的保油率, 可能是因为海藻胶在熏煮香肠这一水包油型乳化体系中均起到一定的乳化作用^[14], 这可能也是其提高产品出品率的一个重要原因。

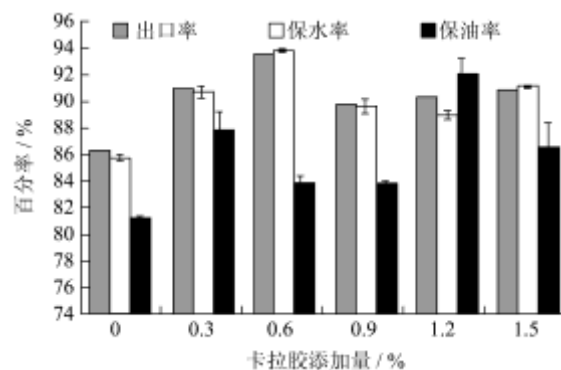


图 2 卡拉胶添加量对熏煮香肠出品率、保水率和保油率的影响

Fig.2 Effect of K-carrageenan addition on yield ratio, water holding ratio and fat holding ratio of smoked and cooked

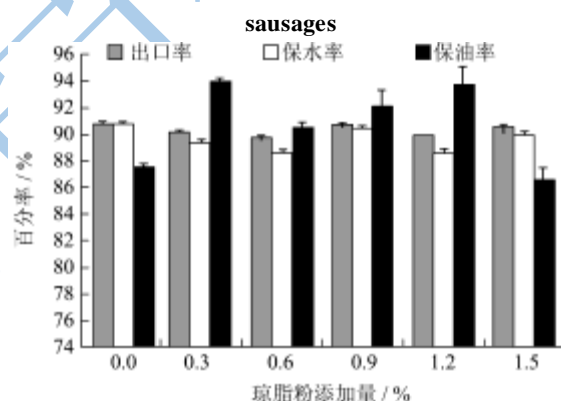


图 3 琼脂粉添加量对熏煮香肠出品率、保水率和保油率的影响

Fig.3 Effect of agar addition on product yield ratio, water holding ratio and fat holding ratio of smoked and cooked sausages

2.2 海藻胶添加量对熏煮香肠 TPA 的影响

三种海藻胶对熏煮香肠 TPA 的影响如图 1 所示, 随着海藻酸钠添加量的增加, 产品的脆性、弹性、咀嚼性呈显著下降趋势 ($p < 0.05$), 添加量在 0.8% 以下时, 产品的硬度、黏着性、内聚性与空白无显著差异 ($p > 0.05$)。卡拉胶在 0~1.2% 的添加范围内, 随着添加量的增加, 香肠的硬度、脆性、咀嚼性呈上升趋势, 这与前人的研究结果一致^[16], 可能是因为卡拉胶是一种带有强阴离子基团的胶体, 能和蛋白质(氨基酸)的极性基团发生作用, 从而改变了混合凝胶的特性, 进而改善肉制品的质构^[17], 黏着性呈现先增大后减小

趋势,在添加量为0.9%时达到最大,但添加卡拉胶对香肠的弹性、内聚性影响不大。添加琼脂对香肠的质构参数影响不大,可能是因为香肠在烘烤和煮制过程中,温度都未达到琼脂的熔融温度(>85℃),琼脂

分子没有充分展开,未能与肌肉蛋白形成更好的凝胶,所以对产品的质构影响不明显。琼脂添加量为1.2%时,香肠的硬度、咀嚼性最大。

表1 三种海藻胶添加量对熏煮香肠 TPA 的影响

Table 1 Effect of algal gels addition on TPA indexes of smoked and cooked sausages

种类	添加量/%	硬度	脆性	黏着性	弹性	内聚性	咀嚼性
SA	0	4099.85±372.84 ^a	4705.14±491.57 ^a	-26.27±12.75 ^a	0.77±0.06 ^a	0.22±0.02 ^a	697.45±91.66 ^a
	0.4	4147.83±472.33 ^a	4203.73±688.05 ^b	-39.39±16.23 ^a	0.67±0.12 ^b	0.21±0.03 ^{ab}	593.62±143.98 ^b
	0.8	4045.14±517.61 ^a	3612.63±450.12 ^c	-35.76±13.83 ^a	0.60±0.09 ^{bc}	0.21±0.03 ^{ab}	538.37±194.09 ^b
	1.2	3030.89±199.68 ^c	2515.33±356.96 ^d	-96.45±22.28 ^b	0.61±0.11 ^b	0.19±0.01 ^{bc}	358.33±76.02 ^c
	1.6	3411.16±282.38 ^b	2640.29±382.79 ^d	-101.17±41.63 ^b	0.53±0.10 ^{cd}	0.20±0.02 ^c	369.93±92.10 ^c
	2.0	3035.82±422.41 ^c	2469.86±360.06 ^d	-162.27±29.94 ^c	0.52±0.11 ^d	0.19±0.02 ^c	299.22±98.10 ^c
CA	0	4699.28±342.64 ^b	4650.79±435.95 ^c	-11.36±9.10 ^a	0.75±0.03	0.24±0.02 ^a	845.55±95.38 ^{bc}
	0.3	5007.82±247.14 ^b	4871.86±409.21 ^c	-26.91±11.07 ^{cd}	0.70±0.07	0.22±0.02 ^{ab}	781.24±127.44 ^c
	0.6	4982.87±452.63 ^b	5558.98±385.14 ^b	-23.48±13.18 ^{bc}	0.73±0.06	0.22±0.02 ^{ab}	814.58±142.86 ^{bc}
	0.9	5840.05±918.44 ^a	6321.62±473.49 ^a	-34.66±8.67 ^d	0.74±0.06	0.22±0.02 ^{ab}	979.15±263.04 ^{ab}
	1.2	6182.32±753.38 ^a	6188.70±500.95 ^a	-25.83±12.68 ^{bcd}	0.74±0.05	0.24±0.03 ^a	1125.04±265.67 ^a
	1.5	5936.53±529.23 ^a	6375.43±643.97 ^a	-15.68±11.14 ^{ab}	0.71±0.05	0.22±0.02 ^c	907.05±124.27 ^{bc}
AG	0	4293.71±481.23 ^{ab}	4722.01±533.85	-20.59±15.84	0.71±0.11	0.22±0.02 ^a	672.82±134.58 ^{ab}
	0.3	4042.92±613.10 ^b	4738.27±671.58	-18.20±9.93	0.70±0.09	0.22±0.03 ^a	632.31±164.20 ^b
	0.6	4174.00±466.66 ^{ab}	5107.43±278.40	-22.36±12.00	0.75±0.07	0.20±0.02 ^b	630.84±126.89 ^b
	0.9	4096.78±400.00 ^b	4982.99±465.47	-17.35±12.56	0.72±0.07	0.22±0.02 ^a	655.26±115.97 ^b
	1.2	4580.88±396.13 ^a	4990.50±358.07	-21.91±12.53	0.73±0.06	0.23±0.02 ^a	770.90±146.37 ^a
	1.5	4266.02±486.40 ^{ab}	4815.40±431.08	-23.16±14.73	0.72±0.09	0.22±0.02 ^a	676.59±105.45 ^{ab}

注: 每种胶同列不同字母表示差异性显著, 显著水平 $p < 0.05$, 不同种类胶之间无比较。

2.3 海藻胶添加量对熏煮香肠色泽的影响

三种海藻胶添加量对熏煮香肠色泽的影响结果如表2所示,随着海藻酸钠和卡拉胶添加量的增加,香肠的亮度值呈下降趋势,而红度值和黄度值呈上升趋势。随着琼脂添加量的增加,香肠的亮度值也呈下降趋势,但对红度值和黄度值无显著影响,这与李珂昕等^[15]人的研究结果一致。

2.4 海藻胶添加量对熏煮香肠自旋-自旋弛豫过程的影响

图4~6分别为不同海藻酸钠、卡拉胶、琼脂粉添加量的香肠制品弛豫信号衰减的反演图谱,由图谱可见,产品的核磁衰减信号被拟合为4个峰,其中0~12 ms (T_{21})前有两个小峰,代表与蛋白、多糖等大分子极性基团紧密结合的化合水;10~150 ms (T_{22})的峰为主峰,其信号达总信号的80%以上,该峰代表产品凝胶体系内截留的不易流动水,为产品中水分的主要

存在形式;150~1000 ms (T_{23})代表产品凝胶体系外的自由水^[18]。由图4~6可以看出,三种胶对香肠弛豫信号的影响有一个共同点,即随着海藻胶添加量的增加,三个水群的峰都向前移动,特别是后面两个峰变化比较明显,但三种状态水的峰面积随着胶种类的不同呈现不同的变化趋势。就海藻酸钠而言,随着海藻酸钠添加量的增加,四个峰都朝前移动,且大峰面积越来越小,最后一个峰与大峰的界限越来越不明显;而随着卡拉胶添加量的增加,前面两个小峰和空白相比变化不大,大峰面积减少,最后一个峰的面积增大,当添加量在0.9%以上时,前面两个小峰前移,大峰也略为前移,且与最后一个峰的界限不明显起来;而添加0.3%琼脂对香肠的水分迁移影响不大,当琼脂添加量为0.6%以上时,第一个小峰后移,第二个峰前移,大峰面积增大,最后一个峰面积减少。

三种海藻胶对熏煮香肠 T_2 时间及其相对面积的影响如表3所示,表中 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 分别代表三种状态水即结合水、不易流动水和自由水的弛豫时间, S_{21} 、 S_{22} 、 S_{23} 代表三种状态水的相对面积,相对面积是指

每部分水的峰面积与总峰面积的比值。

表 2 海藻酸钠添加量对熏煮香肠 L*、a*、b*的影响

Table 2 Effect of algal gels addition on L*-value, a*-value, b*-value of smoked and cooked sausages

种类	添加量/%	L*	a*	b*
SA	0	70.45±0.57 ^a	10.23±0.24 ^d	8.72±0.11 ^d
	0.4	69.94±0.66 ^{ab}	10.56±0.30 ^{bc}	10.27±0.31 ^c
	0.8	69.69±0.82 ^{bc}	10.34±0.35 ^{cd}	10.40±0.46 ^c
	1.2	70.37±0.44 ^a	10.74±0.30 ^b	10.26±0.37 ^c
	1.6	69.22±1.05 ^{cd}	10.81±0.43 ^{ab}	11.11±0.37 ^b
	2.0	68.75±0.41 ^d	11.05±0.27 ^a	11.71±0.34 ^a
CA	0	70.93±0.42 ^a	10.50±0.30 ^c	8.76±0.16 ^c
	0.3	70.32±0.38 ^b	10.56±0.21 ^c	8.86±0.21 ^b
	0.6	70.32±0.58 ^b	10.62±0.35 ^{bc}	9.12±0.26 ^a
	0.9	70.29±0.44 ^b	10.77±0.37 ^{bc}	9.02±0.31 ^{ab}
	1.2	69.63±0.40 ^c	10.87±0.13 ^b	9.08±0.30 ^{ab}
	1.5	69.70±0.41 ^c	11.16±0.22 ^a	9.23±0.22 ^a
AG	0	71.36±0.48 ^a	9.54±0.23	9.29±0.22 ^{ab}
	0.3	71.34±0.49 ^a	9.49±0.17	9.20±0.27 ^{ab}
	0.6	70.65±0.43 ^b	9.35±0.23	9.11±0.23 ^b
	0.9	70.52±0.52 ^b	9.49±0.21	9.42±0.32 ^a
	1.2	70.54±0.40 ^b	9.54±0.18	9.37±0.23 ^a
	1.5	69.94±0.42 ^c	9.51±0.32	9.38±0.29 ^a

注：每种胶同列不同字母表示差异性显著，显著水平 p<0.05，不同种类胶之间无比较。

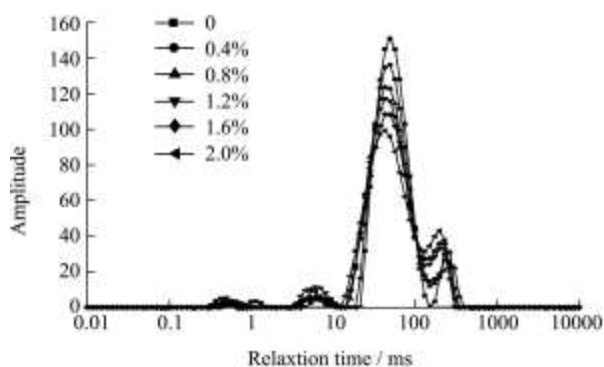


图 4 海藻酸钠添加量对熏煮香肠 T₂弛豫时间分布的影响
Fig.4 Effect of sodium alginate addition on distribution of transverse relaxation time of smoked and cooked sausages

表 4 为海藻胶添加量与 T₂ 时间及其相对面积的相关性分析，由表 3、4 可知，随着海藻酸钠添加量的增加，T₂₁ 变化不明显，其相对面积与海藻酸钠添加量呈显著正相关 (p<0.05)，这可能与海藻酸钠本身所携带的亲水基团有关，海藻酸钠添加的量越多，其化合的水也就越多，T₂₂ 变化不明显，其相对面积与海藻酸钠添加量呈极显著负相关 (p<0.01)，可能是因为海藻酸钠破坏了肌肉蛋白的凝胶网络，使其截留的不易流动

水减少；T₂₃ 与海藻酸钠添加量呈显著负相关 (p<0.05)，说明随着海藻酸钠添加量的增加，自由水活度呈显著下降趋势，其相对面积与海藻酸钠添加量呈极显著正相关 (p<0.01)，可能是部分不易流动水转变成介于自由水和不易流动水的中间态。

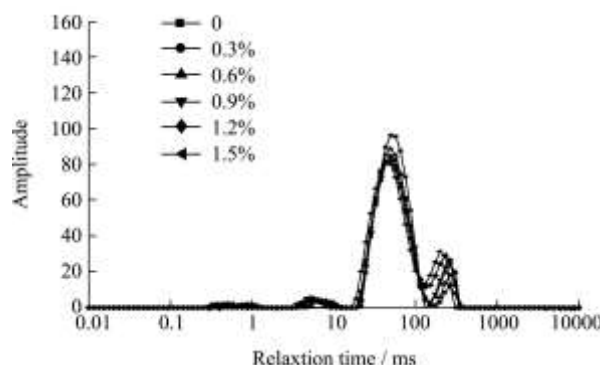


图 5 卡拉胶添加量对熏煮香肠 T₂弛豫时间分布的影响
Fig.5 Effect of K-carrageenan addition on distribution of transverse relaxation time of smoked and cooked sausages

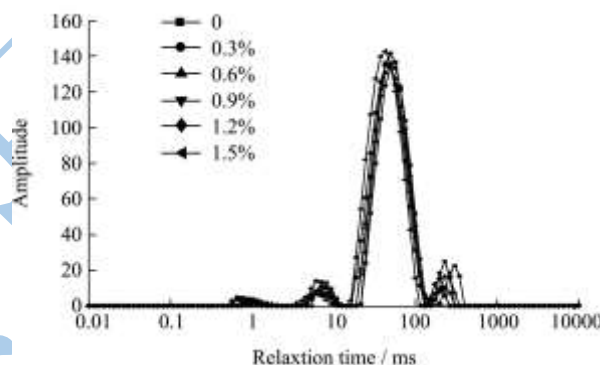


图 6 琼脂添加量对熏煮香肠 T₂弛豫时间分布的影响
Fig.6 Effect of agar addition on distribution of transverse relaxation time of smoked and cooked sausages

随着卡拉胶添加量的增加，T₂₁ 及其相对面积变化不明显，可能是因为卡拉胶携带的亲水基团较少，及其相对面积与卡拉胶添加量都呈显著负相关 (p<0.05)，随着卡拉胶添加量的增加，不易流动水的活性呈降低趋势，可能是因为卡拉胶与肌肉蛋白相互作用形成更致密的网状结构，使其中截留的水变少，但水分子所受的束缚力却增大了，所以 T₂₂ 降低，其相对面积也减少，T₂₃ 随卡拉胶添加量的增加，由 250 ms 降到 208 ms，其相对面积与卡拉胶添加量呈极显著正相关 (p<0.01)，可能是因为被挤出的不易流动水转变成活性较低的自由水，这点和海藻酸钠类似。添加琼脂对香肠的内部结构影响比较复杂，T₂₁ 呈现先增加后减小趋势，其相对面积也呈现相同趋势，T₂₂ 与琼脂添加量呈极显著负相关 (p<0.01)，其相对面积与琼脂添加量呈极显著正相关 (p<0.01)，T₂₃ (由 252 ms 降到 188 ms) 和其相对面积 (由 5.08 降到 2.12) 都与

琼脂添加量呈极显著负相关 ($p < 0.01$), 说明随着琼脂添加量的增加, 不易流动水和自由水的活度显著降低, 可能是因为琼脂与其他体系有较好的相互作用, 形成更致密稳定的体系, 截留了更多的不易流动水, 使部分自由水转化成了不易流动水, 说明琼脂较其他两种胶与肌肉蛋白有更好的交互作用。

表 5 为不同海藻酸钠添加量制得的熏煮香肠的

TPA 参数与 T_2 时间及其相对面积之间的相关性分析。由表 5 可知, 产品的 TPA 参数与 T_2 弛豫时间的相对面积呈现了较好的相关性, 与 S_{21} 和 S_{23} 呈较好负相关, 与 S_{22} 呈较好正相关, 说明不易流动水的比例越大, 其他两种状态水的比例越小, 产品 TPA 参数值也越大, 说明产品内部水的状态比例是影响产品品质的主要因素。

表 3 海藻胶添加量对熏煮香肠 T_2 时间及其相对面积的影响

Table 3 Effect of algal gels addition on transverse relaxation times and their relative peak areas of smoked and cooked sausages

种类	添加量/%	T_{21}	T_{22}	T_{23}	S_{21}	S_{22}	S_{23}
SA	0	4.72±0.52 ^{ab}	55.65±0.54 ^a	250.70±13.97 ^a	2.64±0.58 ^b	91.11±1.34 ^a	6.25±1.01 ^c
	0.4	4.65±0.92 ^{ab}	54.40±1.67 ^{ab}	230.40±13.17 ^b	3.24±0.66 ^b	89.68±1.28 ^a	7.08±1.06 ^c
	0.8	4.92±0.72 ^{ab}	55.63±2.47 ^a	245.55±12.36 ^a	3.21±0.82 ^b	89.42±2.00 ^a	7.37±1.43 ^c
	1.2	5.30±0.39 ^a	54.87±1.90 ^{ab}	225.52±16.94 ^b	4.83±0.48 ^a	85.43±1.52 ^b	9.75±1.67 ^b
	1.6	4.52±0.61 ^{ab}	54.94±1.79 ^{ab}	222.09±13.25 ^b	4.35±0.97 ^a	84.52±1.81 ^c	11.14±1.36 ^{ab}
	2.0	4.13±0.44 ^b	53.05±2.07 ^b	203.67±9.83 ^c	4.51±0.41 ^a	82.92±1.79 ^{cd}	12.57±1.83 ^a
CA	0	5.50±0.89	56.46±1.25 ^a	250.12±21.49 ^a	3.88±0.70	91.36±1.18 ^a	4.76±0.78 ^e
	0.3	5.00±1.17	56.26±1.48 ^a	256.26±12.19 ^a	3.85±0.72	88.44±0.65 ^b	7.70±0.93 ^d
	0.6	5.25±1.06	54.06±0.73 ^b	260.30±8.88 ^a	3.94±0.89	84.61±1.27 ^c	11.46±0.68 ^{bc}
	0.9	5.60±0.60	55.01±0.88 ^b	249.55±12.60 ^a	3.88±0.91	86.33±3.12 ^{bc}	9.78±3.00 ^c
	1.2	4.79±1.00	54.07±1.03 ^b	228.05±10.84 ^b	3.37±0.37	84.62±3.08 ^c	12.00±3.33 ^{ab}
	1.5	4.82±0.78	51.79±1.67 ^c	208.73±9.27 ^c	3.65±0.21	82.34±1.01 ^d	14.01±0.98 ^a
AG	0	5.77±0.36 ^b	57.66±1.10 ^a	252.91±21.95 ^a	4.24±0.64 ^{cd}	90.68±0.84 ^{cd}	5.08±0.66 ^a
	0.3	5.98±0.66 ^b	55.75±1.40 ^b	241.16±19.37 ^{ab}	4.98±0.46 ^{ab}	90.27±1.38 ^d	4.75±1.06 ^a
	0.6	6.09±0.47 ^{ab}	53.53±1.01 ^c	231.99±12.06 ^{bc}	4.65±0.44 ^{bc}	91.47±0.72 ^c	3.87±0.65 ^b
	0.9	6.57±0.41 ^a	53.31±1.35 ^c	219.74±12.84 ^{cd}	5.53±0.48 ^a	91.63±0.71 ^c	2.84±0.52 ^c
	1.2	6.12±0.47 ^{ab}	49.20±0.72 ^d	208.23±10.79 ^d	4.72±0.63 ^{bc}	92.87±0.83 ^b	2.41±0.38 ^c
	1.5	4.92±0.38 ^c	46.42±0.73 ^c	188.99±11.64 ^c	3.69±0.65 ^d	94.18±0.97 ^a	2.12±0.44 ^c

注: 每种胶同列不同字母表示差异性显著, 显著水平 $p < 0.05$, 不同种类胶之间无比较。

表 4 海藻胶添加量与 T_2 弛豫时间及其相对面积的相关性分析

Table 4 Correlational analysis between algal gels addition and transverse relaxation times and their relative peak areas

海藻胶添加量	T_{21}	T_{22}	T_{23}	S_{21}	S_{22}	S_{23}
SA 添加量	-0.404	-0.673	-0.881*	0.869*	-0.974**	0.979**
CA 添加量	-0.565	-0.898*	-0.816*	-0.657	-0.913*	0.926**
AG 添加量	-0.325	-0.977**	-0.993**	-0.224	0.937**	-0.982**

注: **表示在 0.01 水平上显著相关; *表示 0.05 水平上显著相关。

表 5 海藻酸钠熏煮香肠 TPA 参数与 T_2 时间及其相对面积之间的相关性分析

Table 5 Correlational analysis between TPA indexes and transverse relaxation times and their relative peak areas

指标	T_{21}	T_{22}	T_{23}	S_{21}	S_{22}	S_{23}
硬度	0.088	0.583	0.804	-0.954**	0.931**	-0.893*
脆性	0.087	0.520	0.797	-0.965**	0.951**	-0.916*
黏着性	0.476	0.812*	0.943**	-0.854*	0.968**	-0.977**
弹性	0.361	0.574	0.791	-0.783	0.882*	-0.888*
内聚性	0.162	0.739	0.899*	-0.953**	0.936**	-0.899*
咀嚼性	0.196	0.632	0.871*	-0.962**	0.978**	-0.952**

注：**表示在 0.01 水平上显著相关；*表示 0.05 水平上显著相关。

3 结论

三种海藻胶均能提高产品的保油率，降低产品的亮度值和水分活度。海藻酸钠能改善产品的出品率，但效果不如卡拉胶，琼脂对产品的出品率、保水率、质构、红度值和黄度值均无显著影响；添加 1.2% 以上的海藻酸钠，能显著降低产品的质构参数，添加 0.9~1.2% 卡拉胶能显著提高产品的各项质构参数；随着海藻酸钠和卡拉胶添加量的增加，产品的红度值和黄度值呈上升趋势；不易流动水比例呈下降趋势，自由水比例呈上升趋势，而琼脂是不易流动水比例上升，自由水比例下降。另外，产品水分活度和不同状态水的比例可能也是影响产品质构的主要因素之一。

参考文献

- [1] 胡国华.功能性食品胶[M].北京:化学工业出版社.2003
Hu Guo-hua. Functional food gums[M].BeiJing:Chemical industry press,2003
- [2] Shand P J, Sofos J N, Schmidt G R. Properties of Algin/Calcium and Salt/Phosphate Structured Beef Rolls with Added Gums [J]. Journal of Food Science, 2006, 58(6): 1224-1230
- [3] 罗阳,张连富.海藻酸钠-钙凝胶特性及其在低脂猪肉糜中应用的研究[J].食品工业科技,2012,6:374-376
LUO Yang, ZHANG Lian-fu. Study on the gelling properties of sodium-calcium alginate and its application in low-fat Pork [J]. Science and technology of Food Industry, 2012, 6: 374-376
- [4] 方红美,陈从贵,马力量,等.海藻酸钠及超高压对鸡肉凝胶保水和质构的影响[J].安徽农业科学,2008,36(32): 14292-14294
FANG Hong-mei, CHEN Cong-gui, MA Li-liang, et al. Effects of Sodium Alginate and Ultra High Pressure on Water-binding Capacities and Textural Properties of Chicken Meat Gels [J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2008, 36(32): 14292-14294
- [5] 郭锐,彭意开,周光宏,等.K-卡拉胶、复合磷酸盐对反复冻融猪肉品质的影响[J].食品与发酵工业,2012,38(4):196-200
Guo Rui, Peng Yi-kai, Zhou Guang-hong et al. The Research of Kappa-carrageenan and Compound- phosphates on the Quality of Sausages Made of Frozen- and- Thawed Pork Meat [J]. Food and Fermentation industries, 2012, 38(4): 196-200
- [6] M A Ayadi, A Kechaou, I Makni, et al. Influence of carrageenan addition on turkey meat sausages properties [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93: 278-283
- [7] 杨玉玲,周光宏,徐幸莲,等.肌球蛋白与 k-卡拉胶混合凝胶机理的研究[J].食品与发酵工业,2006,32(1):6-10
Yang Yu-ling, Zhou Guang-hong, Xu Xing-lian, et al. Studies on the Mechanism of Combined Gelation Formation of Myosin and k-Carageenan [J]. Food and Fermentation industries, 2006, 32(1): 6-10
- [8] 陈海华,薛长湖.亲水胶体对竹荚鱼鱼糜凝胶特性的影响[J].农业机械学报,2009,40(2):120-125.
Chen Hai-hua, Xue Chang-hu. Effect of Hydrocolloids on the Gel Properties of Horse-mackerel Surimi [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(2): 120-125
- [9] HAIDUC A M, DUYNHOVEN J V. Correlation of porous and functional properties of food materials by NMR relaxometry and multivariate analysis [J]. Magnetic Resonance Imaging, 2005, 23(2): 343-345
- [10] Sun J, Li X, Xu X, et al. Influence of various levels of flaxseed gum addition on the water-holding capacities of heat-induced porcine myofibrillar protein [J]. Journal of Food Science, 2011, 76(3): 472-478
- [11] 朱晓红,李春,胡海涛,等.结合 LF-NMR 研究不同处理对酱牛肉保水性的影响[J].食品工业科技,2012,4:92-95
ZHU Xiao-hong, LI Chun, HU Hai-tao, et al. Effect of different treatments on water-holding capacity and water distribution of spiced beef using low-field nuclear magnetic resonance [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 4: 92-95
- [12] 冯美琴,孙健,徐幸莲,卡拉胶、黄原胶、海藻酸钠、瓜尔豆胶及转谷氨酰胺酶对鸡肉肠出品率和硬度的影响[J].食品科学,2007,28(10):118-121
FENG Mei-qin, SUN Jian, XU Xing-lian. Effects of k-carrageenan, Xanthan, Sodium Alginate, Guar gum and Trans glutaminase on Yield and Hardness of Chicken Sausage [J]. Food Science, 2007, 28(10): 118-121
- [13] 杨玉玲,姜攀,贾继蓉,等.鸡肉肌原纤维蛋白与卡拉胶混合凝胶质构特性的研究[J].食品与发酵工业,2008,34(6):16-19
Yang Yu-ling, Jiang Pan, Jia Ji-rong, et al. Studies on the Textural Properties of Chicken Myofibrillar Protein and Carrageenan Mixed Gel [J]. Food and Fermentation industries, 2008, 34(6): 16-19
- [14] AK Stone, MT Nickerson. Formation and functionality of whey protein isolate(kappa-, iota-, and lambda-type)

- carrageenan electrostatic complexes [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 27: 271-277
- [15] 李珂昕.超高压与微生物多糖对猪肉凝胶品质的影响[D].合肥:合肥工业大学,2007
- Li Ke-xin. Effects of high Pressure on the Properties of Pork meat gels containing microbe Polysaccharides [D]. He Fei: Hefei University of Technology, 2007
- [16] M Cierach, M Modzelewska-Kapitula, K Szacilo. The influence of carrageenan on the properties of low-fat frankfurters [J]. Meat Science, 2009, 82: 295-299
- [17] DD Drohan, A Tziboula, D McNulty, et al. Milk protein-carrageenan interactios [J]. Food Hydrocolloids, 1997, 11: 101-107
- [18] 邹延军,闫晓苗,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,2013,34(1): 22-26
- HUAN Yan-jun, YAN Xiao-lei, SUN Dong-mei, et al. Effect of Sorbitol on Water Holding Capacity and Texture of Fermented Sausages as Determined by NMR [J]. Food Science, 2013, 34(1): 22-26