

低场核磁共振技术研究淀粉添加量对肉糜保水性和质构特性的影响

张骏龙¹,周 纷¹,邵俊花^{1,*},董 博²,贾 娜¹,刘登勇¹

(1.渤海大学食品科学与工程学院,辽宁省食品安全重点实验室,生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心,辽宁锦州 121013;
2.锦州市动物卫生监督预警中心,辽宁锦州 121013)

摘要:本文利用低场核磁共振技术(Low-Field NMR)研究淀粉添加量对肉糜体系中¹H分布状态及迁移规律,并结合测定肉糜蒸煮损失、色泽以及质构特性,研究不同淀粉添加量(0%、6%、12%、18%)对于肉糜制品凝胶保水性和质构特性的影响。结果表明,添加淀粉组与对照组(淀粉添加量0%)的色差、保水性以及质构方面均存在显著差异($p < 0.05$)。随着淀粉添加量的增加,肉糜的蒸煮损失逐渐减少,弛豫时间 T_{21} 和 T_{22} 均明显缩短。此外,弛豫时间 T_{22} 的峰比例面积 P_{22} 随着淀粉含量的增加而逐渐降低。说明随着淀粉含量的增加,肉糜系统对水分的束缚逐渐增强,部分不易流动水转化成结合水,肉糜的凝胶保水性增强。同时,伴随着淀粉含量的增加,肉糜的亮度值也逐渐升高。此外,肉糜硬度、弹性、胶着性、咀嚼性以及红度(a^*)值均在淀粉含量6%时取得最大值。说明6%是淀粉的较优添加量。

关键词:淀粉含量,肉糜,保水性,质构特性

LF-NMR analysis of the effect of starch content on water holding capacity and texture properties of meat batters

ZHANG Jun-long¹, ZHOU Fen¹, SHAO Jun-hua^{1,*}, DONG Bo², JIA Na¹, LIU Deng-yong¹

(1.College of Food Science and Technology, Bohai University; Food Safety Key Lab of Liaoning Province; National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China;
2. Animal Health Monitoring and Early Warning Center of Jinzhou, Jinzhou 121013, China)

Abstract: Low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) was applied to investigate the ¹H distribution and migration in meat batters. The effect of starch content (0%, 6%, 12% and 18%) on water holding capacity and texture properties of meat batters was investigated by measuring the cooking loss, color and texture properties. The results showed that, significant differences ($p < 0.05$) existed in color parameters, water-holding capacity and texture between the presence and absence of starch. Cooking loss was gradually decreased with the increasing of starch content, and the position of the component T_{21} and T_{22} were clearly shorted relaxation times. Moreover, the proportion of peak area of T_{22} was significantly decreased ($p < 0.05$), which indicated that the water molecules combined with protein more tightly and parts of immobilized water turned into free water with the increasing of starch content. Simultaneously, the water holding capacity of meat batters was decreased and the L^* value was increased. In addition, the hardness, resilience, colloidal, chewiness and the redness (a^*) were maximum when the starch content was 6%. Therefore, the starch optimal amount of added in meat batters was 6% under the experimental conditions in this study.

Key words: starch content; meat batters; water holding capacity; texture properties

中图分类号: TS251.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)21-0066-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.21.004

淀粉是肉制品中常用的品质改良剂,尤其在各类肉糜制品中,淀粉作为传统使用的增稠剂和乳化

剂,其使用面之广、用量之大是其他任何一种辅料所不能比拟的^[1]。淀粉应用于肉糜制品,有其独特的优

收稿日期: 2016-04-21

作者简介: 张骏龙(1990-),男,硕士研究生,研究方向: 肉品加工与质量安全控制, E-mail: 18765905274@163.com。

* 通讯作者: 邵俊花(1980-),女,博士,副教授,研究方向: 肉品加工与质量安全控制, E-mail: shaojh024@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31571860)。

越性。首先,淀粉有非常好的膨胀性,少量添加可以保水保油,并起到增强肉糜凝胶强度的作用;同时,淀粉作为填充剂使用,价格低廉且能有效改善产品品质^[2]。因此,在我国现阶段,研究淀粉在乳化型肉制品中的作用,具有相当的现实意义。而且在很长一段时间内,淀粉作为肉糜制品的品质改良剂,都将有较好的应用价值^[3-4]。但是,在目前的工业生产中,一直存在着淀粉添加过量的问题。研究发现,当淀粉添加量达到一定限度时,尤其是在低温条件下,容易导致产品发生反生及析水现象,降低产品保水性并影响产品的品质^[5-6]。因此,研究淀粉添加量对低温乳化型肉制品的保水性及质构特性的影响,具有十分重要的意义。

低场核磁共振技术(Low-field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)是因原子核发生跃迁并与电磁波发生能量交换而产生核磁共振信号的一种检测技术,因其有着无损、简便快速的特点而被广泛用于肉及肉制品水分分布和存在状态的研究。近几年来,国内外利用 LF-NMR 研究肉和肉制品中的水分含量、保水性以及肌原纤维蛋白凝胶性和变性等方面均有较多的报道^[7-8]。LF-NMR 可以通过观察水分中¹H 质子的流动和分布,进而得到肉制品保水性的相关信息^[9-10],是目前国际上用于研究肌肉中水分分布及确定水分组分的最有效手段之一。

因此,本文结合低场核磁弛豫时间 T_2 研究淀粉添加量对肉糜制品水分分布及迁移的影响,并结合质构、色差、保水性等指标,得出肉糜制品中淀粉的最适添加量,以期在低温乳化型肉制品的生产中应用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪背长肌、猪背膘 购买于华联超市;食盐、食用淀粉 市售;以上材料均为食品级。

UTP-313 电子天平 上海花潮电器有限公司; PL203 电子天平 梅特勒托利多仪器上海有限公司; TJ12-绞肉机 广东恒联食品机械制有限公司; Stephan-M5 低温真空斩拌机 德国 Stephan 机械有限公司; D-37520 温控离心机 德国 Sigma 公司; SY-1230 恒温水浴槽 上海沪粤明科学仪器有限公司; CR-400 色彩色差仪 柯尼卡美能达控股公司; TA-XT2i 质构分析仪 英国 Stable Micro Systems 公司; PQ001 低场核磁共振分析仪 上海纽迈电子科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 肉糜配方 肉糜基本配方见表 1:猪瘦肉与猪背膘的质量比为 4:1,冰水添加量为总肉重的 70%,食盐添加量为总肉重的 2.5%,淀粉添加量分别为总肉重的 0%、6%、12% 和 18%。

1.2.2 肉糜制备 剔除猪背脊中多余组织,切成小块,用绞肉机绞碎,将背膘切成大小约 10 mm 左右的肉丁。每组碎肉(200 g)分别加 4 g 食盐混合均匀,腌制 1 h 备用。分别配制不同浓度的淀粉液,搅拌均匀备用。将腌制好的碎肉放入真空斩拌机中斩拌

表 1 肉糜配方

处理组	猪精肉 (g)	背膘 (g)	蒸馏水 (g)	食盐 (g)	淀粉 (g)
1	160	40	140	4	0
2	160	40	140	4	12
3	160	40	140	4	24
4	160	40	140	4	36

2 min,再加入淀粉溶液继续斩拌 1 min(斩拌过程肉糜中心温度不超过 10 ℃),制成不同的肉糜样品,将制备好的肉糜置于 4 ℃ 贮藏备用。

1.2.3 肉糜蒸煮损失率的测定 肉糜蒸煮损失率的测定方法根据 S Cofrades 等^[11]的方法略作修改。从斩拌好的肉馅中称取质量大约 35 g 的肉糜,置于 50 mL 带螺旋盖的离心管中密封,在分析天平上称重记为 W_b 。4 ℃ 条件下低速(500 g)离心 3 min,驱除肉糜中气泡,加盖密封,70 ℃ 恒温水浴 30 min。取出离心管,倒置于培养皿上,静置 1 h 后,除去离心管中的水分,称质量记为 W_a 。每组设 5 个平行,并重复 3 次。

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{W_b - W_a}{W_b}$$

1.2.4 肉糜 NMR 自旋-自旋弛豫时间的测定(T_2) 肉糜 NMR 弛豫时间的测定方法根据 Shao Jun-Hua 等^[12]的方法略作修改。测试条件为:质子共振频率为 22 MHz,测量温度为 32 ℃。将大约 2 g 肉糜样品放入直径为 15 mm 的核磁管中,然后将核磁管放入仪器中。自旋-自旋弛豫时间 T_2 用 CPMG 序列进行测量。所使用参数为: η ~值(90°脉冲和 180°脉冲之间的时间)为 150 μ s。重复扫描 32 次,重复间隔时间为 6.5 s,回波个数 2500。每组设 5 个平行,重复 3 次。

1.2.5 肉糜色差的测定 将肉糜压实、抹平,保证测定表面无气泡。用保鲜膜包裹后室温曝光 20 min,用色差仪(D65,直径 8 mm)测量肉样的颜色和光泽。测量结果用亮度(L^*)值、红度(a^*)值和黄度(b^*)值表示。色差仪使用前经校正板校准,每组设 5 个平行测定,重复 3 次。

1.2.6 质构测定 从斩拌好的肉馅中称取质量大约 35 g 的肉糜,置于事先称好质量的 50 mL 带螺旋盖的离心管中,低速(500 \times g)4 ℃ 离心 5 min,驱除肉糜中气泡,加盖密封,70 ℃ 恒温水浴 30 min,取出离心管内加热后的肉糜冷却至室温,将样品处理成直径 16 mm,高 10 mm,待测。样品规格:25 mm \times 20 mm;

采用质构仪质构剖面分析(Texture Profile Analysis, TPA)程序模块测定乳化凝胶的质构特性。参数设定参照邵俊花^[13]。测定指标有硬度(Hardness)、弹性(Springiness)、凝聚性(Cohesiveness)、咀嚼性(Chewiness)、回弹性(Resilience)。具体测定参数如下:探头 P5;测前速度 2 mm/s,测中速度 1 mm/s,测后速度 1 mm/s,间隔时间 5 s,数据收集率 200 点/s,压缩比 50%,触发力 5.0 kg,触发类型 auto,每组 6 个平行,重复 3 次。测

试完后,用仪器自带的软件 Texture Expert Exceed 2.64a 内部宏 TPA.MAC 对测试结果进行处理。

1.3 数据处理

数据统计采用 SPSS19.0,结果以平均值 \pm 标准差 ($\bar{X} \pm SD$) 的形式表示。方差分析采用 ANOVA 分析,数据进行正态分布检验,符合正态分布的多重比较采用 Duncan 法,不符合正态分布的用 Kruskal-Wallis 检验,差异显著性为 $p < 0.05$ 。作图采用 ORIGIN8.6 软件。

2 结果与分析

2.1 不同淀粉添加量对肉糜蒸煮损失率的影响

不同淀粉添加量的肉糜的蒸煮损失率结果见图 1 所示。可以看出,不同淀粉含量的肉糜之间的蒸煮损失率均存在着显著差异 ($p < 0.05$)。并且随着淀粉含量的增加,肉糜的蒸煮损失率显著降低 ($p < 0.05$)。这一结果与 S·Bañón 等^[14]的研究结果一致,说明淀粉的添加增强了肉糜的保水性。肉糜的保水性主要依靠蛋白质分子,因蛋白质分子所带静电荷与水分子极化基团静电荷相互吸引的结果,从而使得水分子被纳入蛋白质高分子网状立体结构的空间中^[15]。而淀粉添加到肉糜体系中,会发生“吸水、膨润、崩解、分散”的糊化过程^[16],由于淀粉的糊化温度比蛋白质变性温度高,其糊化时,肌肉蛋白已完成胶凝过程,形成网络结构。此时淀粉会吸收存在于网眼中不够紧密的水分,并将其固定,糊化的淀粉与形成的蛋白质网络状结构相互融合、渗透,形成更加庞大的融合混合体,从而提高了肉糜体系的保水性^[17]。

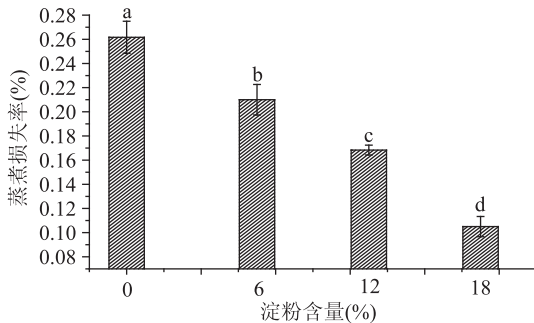


图1 淀粉添加量对蒸煮损失率的影响

Fig.1 Effect of starch content on the rate of cooking loss

注:标注不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$),图2、图3同。

2.2 不同淀粉添加量对肉糜低场核磁弛豫时间 (T_2) 的影响

淀粉添加量对原料肉糜 T_2 弛豫时间的影响见表 2。拟合后的 T_2 分布按弛豫时间呈现三个峰:0~2 ms 和 4~12 ms 各有一个小峰,70~120 ms 有一个大峰。根据出峰时间及各自面积所占总面积的百分比,认为三个峰分别对应于水的三个组分,即结合水 (T_{20})、中度结合水 (T_{21})、不易流动水 (T_{22})^[18]。横向弛豫时间可以反应水分的自由度,弛豫时间分布的变化表征不同含量的肉糜中存在的多种状态水分子的分布情况,即各状态下水分的结合状态和自由移动程度。而图 2 中的 P_{20} 、 P_{21} 、 P_{22} 分别表示弛豫时间 T_{20} 、 T_{21} 、 T_{22} 的弛豫峰面积百分比。可以用来估算各种状态水分

群的含量,其变化可以表征经不同淀粉添加量的肉糜中各种状态水分子的含量变化情况,即各种状态水分子的流动转移情况^[19]。

表2 淀粉含量对肉糜弛豫时间 (T_2) 的影响

Table 2 Effect of starch content on transverse relaxation times (T_2)

淀粉添加量 (%)	Peak1 (T_{20} , ms)	Peak2 (T_{21} , ms)	Peak3 (T_{22} , ms)
0	1.12 \pm 0.27 ^b	11.59 \pm 4.16 ^a	116.71 \pm 0.00 ^a
6	1.82 \pm 0.31 ^a	9.28 \pm 2.03 ^a	106.38 \pm 0.00 ^b
12	1.61 \pm 0.51 ^{ab}	4.79 \pm 0.57 ^{ab}	88.37 \pm 0.00 ^c
18	0.93 \pm 0.55 ^b	4.66 \pm 0.70 ^b	80.55 \pm 0.00 ^d

注:同一列肩标不同者差异显著 ($p < 0.05$),表3同。

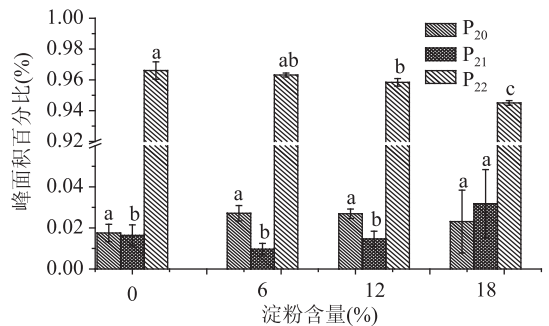


图2 淀粉含量对肉糜 T_2 弛豫时间峰面积的影响

Fig.2 Effect of starch content on proportion of various peak areas

从表 2 中可以看出,随着淀粉含量的增加,弛豫时间 T_{21} 、 T_{22} 呈逐渐下降的趋势。说明随着淀粉含量的增加,肉糜体系中的中度结合水和不易流动水都与蛋白质结合能力增强,水分自由度下降。这可能是由于淀粉其自身的凝胶性造成的。淀粉添加到肉糜体系中,与肉糜中一部分水分结合,使肉糜体系变得更为紧密牢固^[20]。

从图 2 可以看出,与不添加淀粉相比,添加淀粉后肉糜体系中不易流动水所占总水分比例 P_{22} 呈下降趋势。说明随着淀粉含量增加,肉糜体系中的部分不易流动水与淀粉结合,转化形成了结合水及中度结合水,从而导致肉糜体系中不易流动水组分的降低。

2.3 不同淀粉添加量对肉糜颜色的影响

不同淀粉添加量的肉糜颜色结果见图 3。可以看出,随着淀粉含量的增加,肉糜的亮度 (L^*) 值逐渐升高。说明淀粉的添加增加了肉糜的光散射密度,引起了亮度 (L^*) 值的升高^[21]。而肉糜红度 (a^*) 值和黄度 (b^*) 值随着淀粉含量增加呈现先增高后降低的趋势,且在淀粉添加量为 6% 时达到最大。研究发现^[22],在肉糜体系中添加少量淀粉,可显著增强肉糜的保水性,使得肉糜体系中的水分被固定在凝胶网络内部或与淀粉结合,而使得肉糜表面的水分减少。而水分对于红光的吸收能力比蓝光强,肉糜表面水分减少可能会导致肉糜红度 (a^*) 值增大。但是淀粉添加量过大,便会降低肉糜总体中肌红蛋白的含量比,从而导致红度 (a^*) 值降低^[23]。肉糜的黄度

表3 淀粉含量对肉糜质构特性的影响

Table 3 Effect of starch content on TPA in heated meat batters

淀粉添加量(%)	硬度(N)	弹性	胶着度(N)	咀嚼性(N)	回复性
0	112.21 ± 22.11 ^b	0.82 ± 0.08 ^{ab}	61.89 ± 11.90 ^{ab}	51.09 ± 11.56 ^b	0.18 ± 0.03 ^a
6	173.57 ± 24.81 ^a	0.86 ± 0.05 ^a	96.30 ± 15.68 ^a	82.92 ± 14.82 ^a	0.17 ± 0.03 ^{ab}
12	85.78 ± 4.18 ^c	0.68 ± 0.16 ^b	40.91 ± 8.21 ^b	28.97 ± 13.86 ^c	0.15 ± 0.01 ^b
18	114.65 ± 21.38 ^b	0.72 ± 0.10 ^b	56.10 ± 11.57 ^b	40.41 ± 10.51 ^{bc}	0.14 ± 0.03 ^b

(b^*) 值的变化主要受到肉糜体系中水分含量变化、蛋白质的氧化状况以及体系结构变化的影响^[24-26]。淀粉添加量不同可能会导致肉糜的结构间隙发生改变,影响反射的光线,导致黄度(b^*) 值出现起伏^[27]。

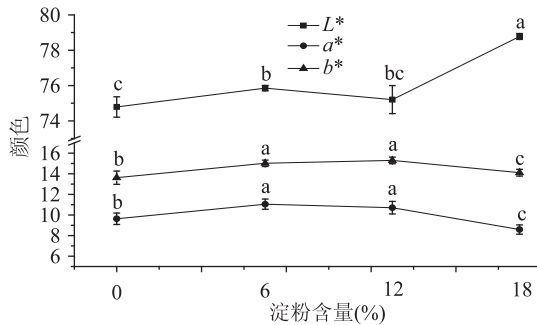


图3 淀粉添加量对肉糜颜色的影响

Fig.3 Effect of starch content on color in meat batters

2.4 不同淀粉添加量对肉糜质构特性的影响

由表3可以看出,随着淀粉含量的增加,肉糜的回复性呈逐渐下降的趋势。硬度、弹性、胶着性、咀嚼性等指标均在淀粉含量6%达到最大。这一结果与S Bañón等^[14]的研究结果一致。研究发现,蛋白质凝胶结构的增强或减弱主要受其填充物的分子结构影响。而Hughes等^[28]也发现,在法兰克福香肠的加工过程中加入适量淀粉能增强其凝胶强度。在加热过程中,淀粉吸收水分膨胀,膨胀后的淀粉对蛋白质凝胶网络施加压力,致使了肉糜的蛋白质凝胶网络更加紧凑,更加牢固^[29]。但淀粉含量过大时,由于淀粉其本身的物性影响了肉糜的固有物性的表现^[30],导致肉糜的凝胶强度降低,硬度、弹性、胶着性、咀嚼性等指标显著下降($p < 0.05$)。综上所述,在肉糜制品中,添加6%的淀粉为最适加入量。此时淀粉糊化效果最佳,肉糜的弹性、胶着性最好,硬度会显著增加,且不影响肉糜回复性和咀嚼性,口感较为适宜。

3 结论

淀粉添加量不同对肉糜的保水性、色差、质构等各项指标都有不同程度的影响。淀粉添加到肉糜体系中,能够与体系中的部分不易流动水结合,降低水分的自由度,使得肉糜体系对水分的束缚能力增强,提高肉糜的凝胶保水性。同时,适量淀粉的添加(6%),能够提高肉糜的亮度(L^*)和红度(a^*)值,增加消费者的消费欲望。此外,肉糜凝胶的回复性随着淀粉含量的增加而降低,硬度、弹性、胶着度、咀嚼性等指标均在淀粉添加量为6%时达到最大,此时淀粉的糊化效果最佳。因此,综合考虑肉糜的保水性、质构和亮度等各项指标,添加6%淀粉的配方生产出的肉糜制品品质较好。

参考文献

- [1] 马萍. 小麦氧化磷酸酯淀粉在火腿肠与香肠中的应用[J]. 粮食与食品工业, 2011, 18(4): 35-37.
- [2] 柳艳霞, 孙灵芝, 赵改名, 等. 玉米变性淀粉与蔗糖脂肪酯对冷却肉的保水作用研究[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 127-130.
- [3] 成昕, 张锦胜, 钱菲, 等. 核磁共振技术研究普通玉米淀粉与玉米抗性淀粉对肉糜持水性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(7): 21-24.
- [4] 吕微, 王中荣. 抗性淀粉生理功能研究[J]. 粮食与油脂, 2007, (4): 17-19.
- [5] 张丽娜, 张梦琴, 张云峰. 甘薯抗性淀粉的制备[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(4): 63-65.
- [6] 关杨, 王可兴, 陆文彬, 等. 压热法制备荞麦抗性淀粉工艺优化[J]. 食品科学, 2007, 28(8): 219-223.
- [7] Bertram H C, Whittaker A K, Shorthose W R, et al. Water characteristics in cooked beef as influenced by ageing and highpressure treatment; an NMR micro imaging study[J]. Meat Science, 2004, 66(2): 301-306.
- [8] Ahmad M U, Tashiro Y, Matsukawa S, et al. Comparison of gelation mechanism of surimi between heat and pressure treatment by using rheological and NMR relaxation measurements[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(9): E497-E501.
- [9] Bertram H C, Andersen H J. NMR and the water-holding issue of pork[J]. Journal of Animal Breeding and Genetics, 2007, 124(1): 35-42.
- [10] Bertram H C, Kohler A, Becker U, et al. Heat-Induced Changes in Myofibrillar Protein Structures and Myowater of Two Pork Qualities. A Combined FT-IR Spectroscopy and Low-Field NMR Relaxometry Study[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(5): 1740-1746.
- [11] Cofrades S, Serrano A, Ayo J, et al. Characteristics of meat batters with added native and preheated defatted walnut[J]. Food Chemistry, 2008, 107(4): 1506-1514.
- [12] Shao J H, Deng Y M, Song L, et al. Investigation the effects of protein hydration states on the mobility water and fat in meat batters by LF-NMR technique[J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 66: 1-6.
- [13] 邵俊花. 猪肉蛋白质构象变化与保油保水性关系研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [14] S Bañón, P Díaza, G Nietoa, et al. Modelling the yield and texture of comminuted pork products using color and temperature. Effect of fat/lean ratio and starch[J]. Meat Science, 2008, 80(3):

(下转第75页)

their breakdown products in food and food plants [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1983, 18(2): 123-201.

[4] Fahey J W, Wade K L, Stephenson K K, et al. Separation and purification of glucosinolates from crude plant homogenates by high-speed counter-current chromatography [J]. Journal of Chromatography. A, 2003, 996(1): 85-94.

[5] Clarke D B. Glucosinolates, structures and analysis in food [J]. Analytical Methods, 2010, 2(4): 310-325.

[6] Bjorkman R, Janson J C. Studies on myrosinases. Purification and characterization of a myrosinase from white mustard seed (*Sinapis alba*.L.) [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1972, 276(2): 508-518.

[7] Rodman J E. A taxonomic analysis of glucosinolate-producing plants [J]. Systematic Botany, 1991, 16(4): 598-618.

[8] Kanyasiri R, Hang X. Anti-inflammatory effect of allyl isothiocyanate and curcumin in combination [J]. The FASEB Journal, 2015, 29(1): 390-7.

[9] Andre L, Glenda N, Daisy M. Inhibition of bladder cancer cell proliferation by allyl isothiocyanate (mustard essential oil) [J]. Mutation Research, 2015, 771: 29-35.

[10] Jideani V A, Vogt K. Antimicrobial packaging for extending the shelf life of bread—a review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015.

[11] Shofran B, Purrington S, Breidt F, et al. Antimicrobial properties of sinigrin and its hydrolysis products [J]. Journal of Food Science, 1998, 63(4): 621-624.

[12] Amin N O, Richard A H. Control of salmonella on fresh

chicken breasts by k-carrageenan/chitosan-based coatings containing allyl isothiocyanate or deodorized oriental mustard extract plus EDTA [J]. Food Microbiology, 2015, 48: 83-88.

[13] Anezka J, Andrea B, Jakub S, et al. Long-term antifungal activity of volatile essential oil components released from mesoporous silica materials [J]. Industrial Crops and Products, 2015, 67: 216-220.

[14] Aparajita B, Suprasanna P, Prasad S. Allyl isothiocyanate enhances shelf life of minimally processed shredded cabbage [J]. Food Chemistry, 2015, 183: 265-272.

[15] Xie Z Y, Wang R, Wu Y C, et al. An efficient method for separation and purification of glucosinolate stereoisomers from radix isatidis [J]. Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies, 2012, 35(1): 153-161.

[16] 江敏, 石林娟, 杨毅. 西兰花籽中萝卜硫苷的提取、分离及结构鉴定 [J]. 食品科学, 2013, 34(5): 124-126.

[17] 李宁. 西兰花干硫苷的提取工艺优化及富集纯化研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2015.

[18] 江敏. 萝卜硫苷的分离纯化工艺研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.

[19] 石林娟, 潘见, 谢慧明, 等. 高效液相色谱法测定西兰花籽提取物中萝卜硫苷含量 [J]. 食品科技, 2013, 38(6): 231-236.

[20] 孙京沙, 张朝辉. 大叶藻总黄酮的大孔树脂纯化工艺 [J]. 食品科学, 2014, 14: 5-10.

[21] 刘佳, 丁轲, 陈湘宁, 等. 辣根中烯丙基硫代葡萄糖苷提取工艺的优化 [J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 204-208.

(上接第 69 页)

649-655.

[15] 郑伟. 猪宰后肌肉肌间线蛋白和整联蛋白变化与持水性的关系 [D]. 昆明: 云南农业大学, 2013.

[16] 丁天峰, 夏平等. 马铃薯淀粉特性及其利用研究. 中国农学通报, 2005, 21(1): 55-58.

[17] 畅阳. 不同种木薯变性淀粉对肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2012.

[18] Chappleau N J, Lamballerie - Anton M I. Changes in myofibrillar proteins interactions and rheological properties induced by high-pressure processing [J]. European Food Research and Technology, 2003, 216(6): 470-476.

[19] 杨慧娟, 于小波, 胡忠良, 等. 低场核磁共振技术研究超高压处理对乳化肠质构和水分分布的影响 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(4): 96-100, 104.

[20] Kong C S, Ogawa H, Iso N. Compression properties of fish-meat gel as affected by gel atinization of added starch [J]. Journal of food science, 1992, 2(64): 283-284.

[21] Hale G M, Querry M R. Optical constants of water in the 200-nm-200-um wavelength region [J]. Applied Optics, 1973, 12: 555-563.

[22] Tabilo - Munizaga G, Barbosa - Cánovas G V. Color and textural parameters of pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white [J]. Food research international, 2004, 37(8): 767-775.

[23] Álvarez D, Castillo M, Pnyne F A, et al. Prediction of meat emulsion stability using reflection photometry [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 82(3): 310-315.

[24] 邵俊花, 邓亚敏, 刘雪, 等. 低场核磁共振技术研究乳化凝胶贮藏过程中保水性和颜色变化之间的关系 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(23): 49-52, 58.

[25] 孟少华, 傅琳秋, 王令建, 等. 低温熏煮香肠的贮藏特性研究 [J]. 现代食品科技, 2010, 26(3): 244-246.

[26] 姚鸿宇, 贺旺林, 霍光, 等. 马铃薯变性淀粉替换原淀粉的比例对法兰克福香肠品质的影响 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2015, 27(3): 66-70.

[27] Aktas N, Gencelep H. Effect of starch type and its modifications on physicochemical properties of bolognatype sausage produced with sheep tail fat [J]. Meat Science, 2006, 74(2): 404-408.

[28] Hughes E, Mullen A M, Troyd D J. Effects of fat level, tapioca starch and whey protein on frankfurters formulated with 5% and 12% fat [J]. Meat Science, 1998, 48(1): 169-180.

[29] Sun F Y, Huang Q L, Hu T, et al. Effects and mechanism of modified starches on the gel properties of myofibrillar protein from grass carp [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 64: 17-24.

[30] 张静雯, 董吉林, 申瑞玲. 黑麦非淀粉多糖胶在制备香肠中的应用 [J]. 中国酿造, 2012, 31(8): 77-81.