

香辛料提取物对牛肉丸冻藏过程中质构和微观结构的影响

贾娜¹, 陈璐², 刘骞², 孔保华^{2,*}

(1.渤海大学食品科学研究院, 渤海大学化学化工与食品安全学院, 辽宁省食品安全重点实验室, 食品贮藏加工及质量安全控制工程技术研究中心, 辽宁省高校重大科技平台, 辽宁锦州 121013;
2.东北农业大学食品学院, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要:以牛肉丸保水性、质构特征和微观结构为评价指标,探讨了迷迭香、丁香和桂皮提取物对牛肉丸冻藏过程中食用品质的影响。结果表明,牛肉丸在冻藏过程中,解冻损失和蒸煮损失逐渐增加($p < 0.05$),说明牛肉丸的保水性降低,而添加迷迭香、丁香和桂皮提取物能显著提高保水性($p < 0.05$);牛肉丸的硬度和弹性随着冻藏时间的延长,先增加后降低,添加迷迭香、丁香和桂皮提取物能显著提高牛肉丸的硬度和弹性($p < 0.05$),改善其质构特性;迷迭香、丁香和桂皮提取物能改善冻藏导致的牛肉丸组织结构松散、粗糙和不规则现象。香辛料提取物具有改善牛肉丸制品食用品质的潜在应用价值。

关键词:香辛料提取物,牛肉丸,冻藏,质构,微观结构

Effects of spice extract on the textural properties and microstructure of beef balls during frozen storage

JIA Na¹, CHEN Lu², LIU Qian², KONG Bao-hua^{2,*}

(1. Research Institute of Food Science, College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, Engineering and Technology Research Center of Food Preservation, Processing and Safety Control of Liaoning Province, Bohai University, Jinzhou 121013, China;
2. College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: The eating quality of beef balls during frozen storage were investigated by determining the water-holding capacity, textural properties and microstructure. The thawing loss and cooking loss were both declined during frozen storage ($p < 0.05$) which indicated that the water-holding capacity of the beef balls were weakened, but the addition of rosemary, clove and cassia extract improved the water-holding capacity ($p < 0.05$). The hardness and springiness first increased and then decreased with the prolonged storage time and the beef balls with rosemary, clove and cassia extract displayed more hardness and springiness than control ($p < 0.05$). The addition of rosemary, clove and cassia extract improved the loosening, coarse and irregular microstructure of beef balls caused by frozen storage. The spice extracts possess the potential application ability to improve the eating quality of beef balls.

Key words: spice extract; beef balls; frozen storage; textural properties; microstructure

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2013)16-0300-05

随着人们消费水平的提高,生活节奏的加快,对方便食品提出了更高的要求。而调理食品由于食用

方便、味道鲜美等特点,深受广大消费者青睐,得到了快速的发展,其中具有代表性的是牛肉丸制品。然而,牛肉丸在冻藏过程中,随着时间的延长,品质会发生明显变化。主要表现为以下五个方面:一是发生脂肪氧化反应,因为低温可以抑制微生物生长,但是不能阻止脂肪的自动氧化;二是保水性下降,发生干耗,质量降低;三是质构性质变差,如冻结温度不够

收稿日期: 2013-02-04 * 通讯联系人

作者简介: 贾娜(1982-),女,博士,讲师,研究方向: 肉品加工与贮藏。
基金项目: 国家十二五科技支撑计划(2012BAD28B02); 黑龙江省教育厅科学计划研究项目(12511054)。

[J]. 食品科学, 2007, 28(5): 324-327.

[13] 王颖, 刘芬, 李日杰, 等. 文冠叶生物活性成分的研究[R]. 广州: 全国药物化学学术会议, 2011, 314.

[14] 温新宝, 秦翠萍, 苗芳, 等. 苍耳七黄酮化合物超声提取条件的优化[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(7): 153-157.

低,细胞内的冰晶体积逐渐增大,对细胞膜产生破坏,导致水分的流失,牛肉丸的内部会产生较大的空洞,从而影响了牛肉丸的质构性质;四是颜色变差,冻藏时会导致肌红蛋白变性氧化,红度值下降^[4];五是感官品质降低。其中脂肪氧化是导致肉品品质变差的主要原因之一,通常采取向肉及肉制品中添加抗氧化剂的手段以达到防止脂肪氧化的目的^[2-3]。通过本实验室前期研究发现,香辛料提取物具有很好的抗氧化活性,在一定程度上可以减缓冻藏牛肉丸脂肪氧化的速度,并且对牛肉丸的红度值和感官品质具有一定程度的改善作用^[4]。在此基础上,本文研究了香辛料提取物对牛肉丸在冻藏过程中保水性、质构特征和微观结构的影响,旨在明确香辛料提取物在发挥良好抗氧化作用的同时,对牛肉丸的食用品质将会产生哪些影响。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

牛臀尖肉 大庄园集团;猪背膘脂肪 农大肉灌制品厂;迷迭香、丁香、桂皮 哈尔滨市宝丰药店;猪脂肪、味精、淀粉、胡椒等辅料 市售;丁羟基茴香醚 (butylated hydroxyanisole, BHA) 国药集团化学试剂有限公司。

AL-104型精密电子天平 上海梅特勒-托利多仪器设备有限公司;冷冻干燥机 上海田枫实业有限公司;超微细粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;TA-XT plus型质构分析仪 英国Stable Micro System公司;S-3400N 扫描电镜 日本日立公司;水银温度计 常州市凯剑热工仪表有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 香辛料提取物的制备 参照Zhang等^[5]的方法。将45℃烘干后的香辛料用超微细粉碎机(800W, 24000r/min)捣碎,称取50g干粉于500mL烧杯中,加入400mL 95%食用酒精,于55℃恒温水浴搅拌12h,过滤,残渣加入200mL食用酒精重提12h后再过滤,合并滤液,旋转蒸发(50℃),浓缩液于-50℃进行真空冷冻干燥,真空度为7Pa。冻干物-20℃保存,待用。

1.2.2 牛肉丸加工方法 参照文献[4]所述方法制备牛肉丸。

配方:牛瘦肉400g,猪脂肪100g,盐12g,味精2g,复合磷酸盐2g,淀粉50g,胡椒0.75g,肉蔻0.5g,小茴香0.15g,葡萄糖5g,水100g,亚硝酸盐0.025g,黄原胶1g。对照组为上述基础配方,其他各组样品分别添加0.04%迷迭香提取物、0.04%丁香提取物、0.04%桂皮提取物和0.02% BHA。

工艺流程:原料肉的选择整理→解冻→绞碎→配料→斩拌→添加辅料→继续斩拌→成型→煮制→预冷→包装→冷藏。

解冻后的原料肉用筛孔直径为4mm的绞肉机绞碎,将肥瘦比为1:4的原料肉置于斩拌机中,添加食盐等辅料和适量的碎冰充分斩拌,将斩拌均匀的原辅料挤捏成直径约为2.5cm的圆球形牛肉丸子坯。牛肉丸煮制后,于4℃预冷至中心温度达到6℃以下,进

行包装,-28℃速冻库冻结,使产品温度迅速降至-15℃以下,出库后迅速转入-18℃冷柜内贮藏,待测不同冻藏时间的各项指标。

1.2.3 牛肉丸基本成分与出品率的测定

1.2.3.1 水分含量的测定 参照GB 5009.3-2010食品中水分的测定。

1.2.3.2 粗脂肪含量的测定 参照GB/T 5009.6-2003食品中脂肪的测定。

1.2.3.3 蛋白质含量的测定 参照GB 5009.5-2010食品中蛋白质的测定。

1.2.3.4 牛肉丸出品率 出品率计算公式为:

$$\text{出品率}(\%) = \frac{\text{制品净重}}{\text{原辅料(不包含加水量)}} \times 100$$

1.2.4 解冻损失的测定 按照Serrano等^[6]的方法,略作修改。将冷冻牛肉丸于冰柜中取出,准确称重 W_1 。在室温下(20℃左右)放置15min,待其完全缓化后,用滤纸吸干表面可见水分,再次称重 W_2 ,计算解冻损失的公式为:

$$\text{解冻损失}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

1.2.5 蒸煮损失的测定 按照Serrano等^[6]的方法,略作修改。将测完解冻损失的牛肉丸放入蒸煮袋中,于沸水浴煮制10min,用温度计测定中心温度达到70℃时,取出牛肉丸,在室温下(20℃左右)放置30min,吸干充分冷却后的牛肉丸表面的水分,准确称重 W_3 ,计算蒸煮损失的公式为:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_3} \times 100$$

1.2.6 牛肉丸质构的测定 质构的测定采用TPA (texture profile analysis)法。测试时将煮熟的牛肉丸切成大小为1.5cm×1.5cm×1.5cm肉块,将肉块放在物性仪平台上,肉块的中心线应与平台中心对齐。选用P/50探头,质构仪参数设置为:测试前速度为2mm/s,测试速度为5mm/s,返回速度为5mm/s,压缩比为50%,两次激活感应力5g。TPA结果采用Stable Micro System软件分析。每个样取10个平行样,取平均值。

1.2.7 牛肉丸微观结构的观察 参照夏秀芳等^[7]的方法,略作修改。将经过前处理的样品观察面向上粘贴在扫描电镜样品台上,用E-1010 (Giko)型离子溅射镀膜仪在样品表面镀上一层15nm厚的金属膜(金或铂膜),将处理好的样品放入样品盒中待检,加速电压为5kV,500倍放大进行扫描观察。

1.3 统计分析

每个实验重复3次,结果表示为 $x \pm SD$ 。数据分析采用Statistix 8.1 (分析软件,StPaul, MN)利用软件包中Linear Models程序进行,差异显著性($p < 0.05$)分析使用Tukey HSD程序。

2 结果与分析

2.1 基础配方牛肉丸中主要成分含量及出品率

从表1可知基础配方牛肉丸(即对照牛肉丸)的主要化学成分含量,水分含量约为64.29%,粗脂肪含量约为16.75%,蛋白质含量约为11.99%,牛肉丸的出品率约为124.4%。

表1 牛肉丸主要成分含量及出品率

Table 1 Composition analysis and product yield of the beef balls

成分	$\bar{x} \pm SD$
水分含量(%)	64.29±0.39
粗脂肪含量(%)	16.75±0.12
蛋白质含量(%)	11.99±0.04
牛肉丸出品率(%)	124.4±3.86

2.2 不同香辛料提取物对牛肉丸冻藏过程中硬度和弹性的影响

硬度和弹性是衡量牛肉丸品质和质构特性的具有代表性的指标和参数,硬度在一定程度上反映了牛肉丸的组织状态,而弹性越好,牛肉丸口感越好,越有嚼劲且不易破裂。由图1(a)和图1(b)可知,随着冻藏时间的增加,牛肉丸的硬度和弹性均是先增加,在冻藏30d时达到最大值,然后随着冻藏时间的延长,二者又逐渐降低。这可能是由于在冻藏过程中蛋白质会发生氧化,在冻藏初期蛋白质的氧化不是很严重,而轻微的蛋白氧化有利于蛋白凝胶网状结构的形成^[8-9],增加了牛肉丸的硬度和弹性。随着冻藏时间的增加,冰晶生长对细胞造成机械损伤以及蛋白变性程度增加,都会导致牛肉丸的硬度和弹性下降^[10]。

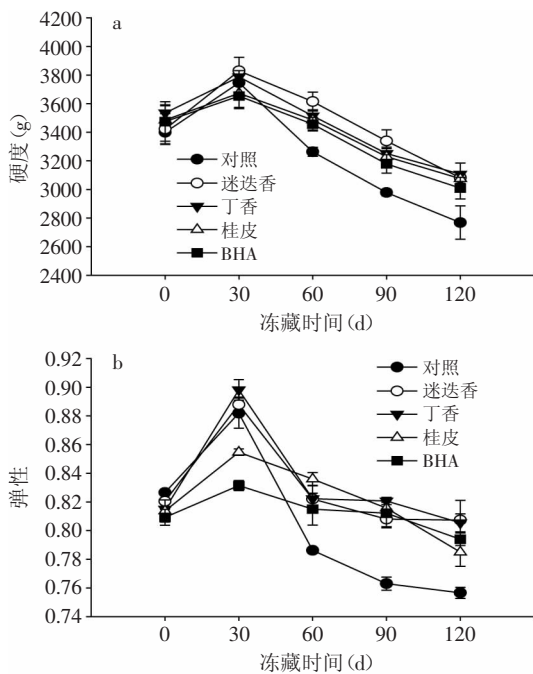


图1 不同香辛料提取物对牛肉丸冻藏过程中硬度和弹性的影响

Fig.1 Effect of different spice extracts on hardness and springiness of beef balls during frozen storage

从图1(a)可以看出,在冻藏0d和30d时,与对照组相比,迷迭香、丁香、桂皮提取物和BHA对牛肉丸硬度的影响均不显著($p>0.05$),当冻藏时间增加到60、90、120d时,三种香辛料提取物和BHA能显著提高牛肉丸的硬度($p<0.05$),且香辛料的效果优于BHA,但三种香辛料处理组之间差异不显著($p>0.05$)。从

图1(b)可以看出,在冻藏0d时,与对照组相比,迷迭香、丁香和桂皮提取物对牛肉丸弹性没有显著影响($p>0.05$),而BHA处理组的弹性显著低于对照组($p<0.05$);冻藏30d时,迷迭香和丁香处理组与对照组弹性差异不显著($p>0.05$),而桂皮和BHA处理组的弹性显著低于对照组($p<0.05$);冻藏60、90、120d时,香辛料和BHA可显著提高牛肉丸的弹性($p<0.05$)。总体来说,添加香辛料对牛肉丸冻藏期间的硬度和弹性具有一定程度的改善作用,这可能是由于香辛料抑制了肉丸中的蛋白质和脂肪氧化,减少了蛋白质的变性程度^[4]。

2.3 不同香辛料提取物对牛肉丸冻藏过程中保水性的影响

保水性对肉制品的品质有很大影响,是评定肉质的重要指标之一,保水性可直接影响到肉制品的风味、颜色、质地、嫩度和凝结性等。解冻损失和蒸煮损失可以作为评价保水性的指标,二者增加,说明保水性下降。由图2(a)可知,冻藏30d的对照组、丁香处理组和桂皮处理组牛肉丸的解冻损失与冻藏0d相比差异不显著($p>0.05$),在冻藏第60d时开始显著增加($p<0.05$),而添加迷迭香提取物和BHA牛肉丸的解冻损失在冻藏第30d就开始显著增加($p<0.05$);由图2(b)可知,对照组、香辛料处理组和BHA处理组牛肉丸的蒸煮损失在冻藏过程中逐渐增加($p<0.05$)。

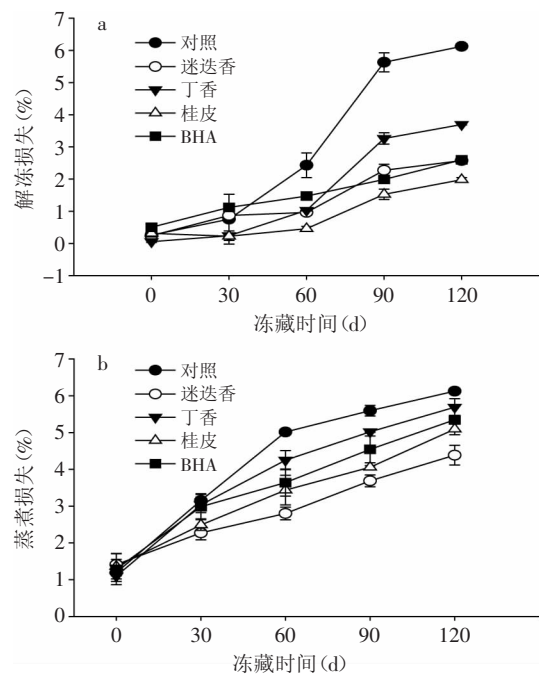


图2 不同香辛料提取物对牛肉丸冻藏过程中解冻损失和蒸煮损失的影响

Fig.2 Effect of different spice extracts on thawing loss and cooking loss of beef balls during frozen storage

以上结果说明冻藏时间延长导致牛肉丸保水性降低的程度加剧,这是由于在冻藏初期,只有细小冰晶形成,对肌肉组织的破坏程度较小,所以解冻损失和蒸煮损失增加的程度不是很大,而冻藏时间延长,

会使肉中产生大量冰晶,并且冰晶的体积也会逐渐变大,对肌肉细胞膜和细胞器造成的机械损伤更严重,水分更容易从肌肉中释放出来^[11]。冻藏过程中蛋白质发生变性和聚集,使肌原纤维蛋白形成凝胶的能力变弱,也会使肉的保水性下降。此外,脂肪氧化和蛋白氧化也会导致保水性降低^[12-13]。添加香辛料提取物和BHA能显著降低牛肉丸在冻藏60、90、120d时的解冻损失($p < 0.05$),但冻藏0d和30d时添加香辛料和BHA牛肉丸的解冻损失与对照组差异不显著($p > 0.05$)。冻藏0d时,香辛料处理组和BHA处理组的蒸煮损失与对照组差异不显著($p > 0.05$);冻藏30d时,对照组的蒸煮损失显著高于迷迭香和桂皮处理组($p < 0.05$),但与丁香和BHA处理组差异不显著($p > 0.05$);冻藏60、90、120d时,迷迭香、丁香、桂皮和BHA处理组的蒸煮损失均显著低于对照组($p < 0.05$),降低蒸煮损失的效果为:丁香<BHA<桂皮<迷迭香。

以上结果说明香辛料能够在一定程度上提高牛肉丸在冻藏过程中的保水性,这可能与香辛料对脂肪氧化和蛋白的氧化抑制作用有关^[9]。香辛料提取物的有效成分主要是酚类物质,具有酚羟基结构,可能会与牛肉丸中的水分结合形成氢键,从而可以更好的保护组织间隙的水,大大提高保水性,减少牛肉丸汁液的流失,提高产品的品质。

2.4 不同香辛料对牛肉丸冻藏过程中微观结构的影响

添加迷迭香、丁香、桂皮提取物和BHA对牛肉丸微观结构的影响如图3所示,牛肉丸在0d(图3a)时组织结构致密,表面平滑,孔隙很小,具有良好的三维网状结构。随着贮藏时间的延长,90d对照组(图3b)结构破坏最严重,网状结构极其疏松和不规则,出现大小不等的孔洞,形成“蜂窝”状结构,这可能是由于冻藏过程中形成的冰晶造成牛肉丸组织结构粗糙。虽然添加香辛料提取物和BHA的样品(图3c~f)也形成较大的团块,但是比90d对照组(b)有较好的三维立体网状结构,能较大程度的锁住水分,降低汁液流

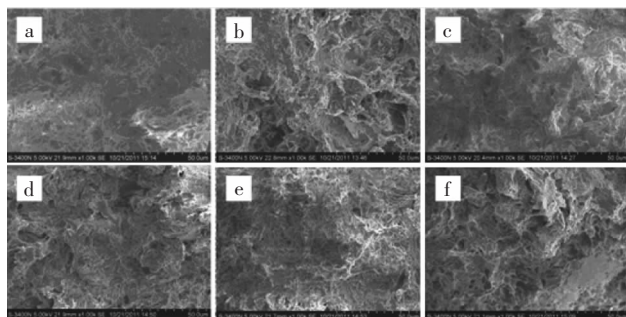


图3 不同香辛料提取物对牛肉丸冻藏过程中微观结构的影响(500×)

Fig.3 Effect of different spice extract on the microstructure of beef balls during frozen storage (500×)

注:a代表0d未添加香辛料提取物对照组;b代表90d对照组;c代表90d添加迷迭香提取物的牛肉丸;d代表90d添加丁香提取物的牛肉丸;e代表90d添加桂皮提取物的牛肉丸;f代表添加BHA的牛肉丸。

失程度。这一结果与牛肉丸解冻损失和蒸煮损失的变化、牛肉丸硬度和弹性变化的结果相一致,说明香辛料提取物和BHA在一定程度上能够提高牛肉丸的保水性和质构特性,从而改善其食用品质。Rawdkuen等^[14]指出新鲜肉的蛋白质会形成具有较高弹性和良好质构的凝胶结构。Xia等^[15]表明冷冻储藏会极大的破坏肌原纤维蛋白凝胶的网状结构,造成凝胶网状结构疏松、均匀度差,凝胶三维网状结构破坏严重,使蛋白质的凝胶形成能力下降。

3 结论

在冻藏过程中,牛肉丸的解冻损失和蒸煮损失均增加,保水性下降,添加迷迭香、丁香、桂皮提取物能显著提高牛肉丸的解冻损失和蒸煮损失($p < 0.05$),说明三种香辛料提取物能改善牛肉丸冻藏过程中的保水性;牛肉丸的硬度和弹性随着冻藏时间的延长先增加后降低,失去原有的质构特性,迷迭香、丁香和桂皮提取物能提高的硬度和弹性,改善牛肉丸冻藏过程中的质构特性;长时间冻藏导致牛肉丸的组织结构松散和不规则,呈现“蜂窝”状,添加迷迭香、丁香和桂皮提取物的牛肉丸有较好的三维立体网状结构。香辛料提取物对牛肉丸在冻藏过程中的食用品质具有一定的改善作用。

参考文献

- [1] Patterson M F, McKay A M, Connolly M, *et al.* Effect of high pressure on the microbiological quality of cooked chicken during storage at normal and abuse refrigeration temperatures[J]. Food Microbiology, 2010, 27(2): 266-273.
- [2] Jia N, Kong B, Liu Q, *et al.* Antioxidant activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) extract and its inhibitory effect on lipid and protein oxidation of pork patties during chilled storage[J]. Meat Science, 2012, 91(4): 533-539.
- [3] Vaithyanathan S, Naveena B M, Muthukumar M, *et al.* Effect of dipping in pomegranate (*Punica granatum*) fruit juice phenolic solution on the shelf life of chicken meat under refrigerated storage (4°C)[J]. Meat Science, 2011, 88(3): 409-414.
- [4] 陈璐,孔保华,刘骞,等. 香辛料提取物对速冻牛肉丸脂肪氧化控制的研究[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 281-285.
- [5] Zhang X, Kong B, Xiong Y. Production of cured meat color in nitrite-free Harbin red sausage by *Lactobacillus fermentum* fermentation[J]. Meat Science, 2007, 77(4): 593-598.
- [6] Serrano A, Cofrades S, Colmenero F J. Transglutaminase as binding agent in fresh restructured beef steak with added walnuts[J]. Food Chemistry, 2004, 85(3): 423-429.
- [7] 夏秀芳,孔保华,郭园园,等. 反复冷冻-解冻对猪肉品质特性和微观结构的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 982-988.
- [8] Liu G, Xiong Y L, Butterfield D A. Chemical, physical, and gel-forming properties of oxidized myofibrils and whey- and soy-protein isolates[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(5): 811-818.
- [9] Kong B, Xiong Y, Cui X, *et al.* Hydroxyl radical-stressed

(下转第312页)

的升高均有延缓作用,并可降低青皮核桃的呼吸强度,提高POD活性,降低PPO活性,获得更好地保鲜效果,与在(5±1)℃、(0±0.5)℃条件下贮藏的青皮核桃相比,其贮藏期可分别延长45d和15d。因此,贮藏青皮核桃的适宜温度为(-1±0.5)℃。

参考文献

- [1] 王志平. 核桃油及维生素E复合核桃油对动物功能行为影响的研究[J]. 山西医药杂志, 2000, 29(4): 325-326.
- [2] 江城梅, 丁昌玉, 赵红, 等. 核桃仁拮抗HgCl₂致脂质过氧化作用[J]. 中华预防医学杂志, 1995, 29(4): 255.
- [3] 毕敏, 尹政. 核桃仁提取物抗脑衰老作用的实验研究[J]. 现代中药研究与实践, 2006, 20(3): 35-37.
- [4] 徐华. 气调贮藏对生核桃仁及其加工品品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [5] 李鹏霞, 王伟, 梁丽松, 等. 常温下气调包装对核桃贮藏生理和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(5): 1151-1155.
- [6] 吴娜. 贮藏条件对核桃仁品质影响机理的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [7] 郝利平, 杨剑婷. 贮藏因素对核桃脂肪酶活性与油脂酸价的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 170-172.
- [8] 马艳萍, 马惠玲, 刘兴华, 等. 鲜食核桃和干制核桃贮藏生理及营养品质变化比较[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(3): 235-238.
- [9] 黄凯, 袁德保, 韩忠. 鲜食核桃贮藏中生理生化变化的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(23): 9858-9860.
- [10] 赵云峰, 郑瑞生. 冷害对茄子果实贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(10): 321-325.
- [11] 狄建兵. 涂膜抑制核桃哈败的研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2005.
- [12] Rao M V, Paliyath G, Ormrod D P. Ultraviolet-B-and ozone-induced biochemical changes in Antioxidant enzymes of Arabidopsis thaliana[J]. Plant Physiol, 1996, 110: 125-136.
- [13] Zheng Xiaodong, Zhang Hongyin, Xi Yufang. Postharvest biological control of gray mold rot of strawberry with *Cryptococcus laurentii*[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(5): 171-175.
- [14] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴, 等. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 37-40.
- [15] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [16] 武菊英, 滕文军, 王庆海, 等. 多年生观赏草在北京地区的生长状况与观赏价值评价[J]. 园艺学报, 2006, 33(5): 1145-1148.
- [17] 杨剑婷, 郝利平. 关于引起核桃中油脂哈败因素的研究初探[J]. 山西农业大学学报, 2001, (3): 271-273.
- [18] 王宝刚, 侯玉茹, 李文生, 等. 自动发气调箱贮藏对甜樱桃品质及抗氧化酶的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 138-141.
- [19] 陈蔚辉, 张福平, 林建新, 等. 常温条件下微气调袋包装对荔枝品质与某些生理指标的影响[J]. 果树学报, 2004, 21(1): 85-87.

(上接第303页)

- whey protein isolate: Functional and rheological properties[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(1): 169-176.
- [10] 郑锐, 曹川, 包建强, 等. 冻藏于不同温度下做不同处理方法的草鱼肉质结构变化的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(1): 344-347.
- [11] Farouk M, Wieliczko K, Merts I. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef[J]. Meat Science, 2004, 66(1): 171-179.
- [12] Liu Z, Xiong Y, Chen J. Protein oxidation enhances hydration but suppresses water-holding capacity in porcine longissimus muscle[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(19): 10697-10704.

- [13] Thanonkaew A, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* The effect of antioxidants on the quality changes of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) muscle during frozen storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(1): 161-169.
- [14] Rawdkune S, Saiut S, Khamsorn S, *et al.* Biochemical and gelling properties of tilapia surimi and protein recovered using an acid-alkaline process[J]. Food Chemistry, 2009, 112(1): 112-119.
- [15] Xia X, Kong B, Xiong Y, *et al.* Decreased gelling and emulsifying properties of myofibrillar protein from repeatedly frozen-thawed porcine longissimus muscle are due to protein denaturation and susceptibility to aggregation[J]. Meat Science, 2010, 85(3): 481-486.

一套《食品工业科技》在手, 纵观食品工业发展全貌