

网络出版时间:2018-09-06 17:30

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.03.017

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180906.1723.034.html

细菌纤维素对鸡肉品质及蛋白性质的影响

郭 艳,吴 进,李腾宇,张 爽,王双喜,冯宪超,李志西

(西北农林科技大学 食品科学与工程学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】探究细菌纤维素(Bacterial cellulose,BC)对鸡肉品质及蛋白性质的影响。【方法】向鸡肉中分别添加质量分数为 0.2%、0.6% 和 1.0% 的 BC,以 100% 肉(CM)、90% 肉+10% 水(CW)和添加质量分数 2.0% 微晶纤维素(Microcrystalline cellulose,MCC)的鸡肉为对照组,测定烘烤之后鸡肉饼的保水性、质构特性、颜色及微观结构,利用动态流变仪对生鸡肉的储能模量(G')和损耗模量(G'')进行测定,采用差示扫描量热仪(DSC)和傅里叶中红外光谱(FTIR)测定 BC 对鸡肉蛋白变性温度和化学基团的影响。【结果】持水力结果表明,鸡肉饼的水分损失率随 BC 添加量的增加而降低,当 BC 添加量为 1.0% 时,水分损失率最小(12.82%),且显著小于 CM(13.95%)和 CW(15.48%)。激光共聚焦扫描显微镜结果显示,随 BC 添加量的增加,鸡肉中油滴尺寸逐渐减小且分布更加均匀。扫描电镜图片进一步证明,BC 和蛋白质良好兼容,鸡肉饼的微观结构更加紧凑。常温下,添加 BC 的鸡肉,其 G' 和 G'' 明显高于对照组,且与 BC 的添加量呈正相关。温度升高时, G' 和 G'' 随 BC 添加量的增加而降低。DSC 和 FTIR 结果表明,BC 对鸡肉蛋白的变性温度与化学基团无显著影响。【结论】BC 具有良好的保水性,添加 BC(0.2%~1.0%)可以不同程度降低鸡肉饼的水分损失;BC 不影响鸡肉蛋白的变性与化学基团的变化,表明 BC 与蛋白质之间的作用力属于非共价相互作用。当 BC 添加量为 0.6% 时,其对鸡肉品质的改善效果最佳。

【关键词】 细菌纤维素;鸡肉品质;质构特性;非共价作用;鸡肉加工

【中图分类号】 TS201.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)03-0129-09

Effects of bacterial cellulose on chicken quality and protein properties

GUO Yan, WU Jin, LI Tengyu, ZHANG Shuang, WANG Shuangxi,
FENG Xianchao, LI Zhixi

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the effects of bacterial cellulose (BC) on chicken quality and protein properties. 【Method】 BC with the mass fractions of 0.2%, 0.6% and 1.0% was added to chicken, while 100% meat (CM), 90% meat+10% water (CW) and chicken containing 2.0% MCC were used as control groups. The influence of BC on quality (water-holding capacity, texture, color and microstructure) of baked chicken patties was determined. Rheological properties of raw chicken were monitored by rheometer. The impacts on denaturation and chemical structure of proteins were identified through differential scanning calorimetry (DSC) and fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). 【Result】 The baked chicken patties with 1.0% BC exhibited the lowest water loss (12.82%) and significantly lower than CM (13.95%) and CW (15.48%). Addition of BC improved the distribution and stability of lipid droplets, and the size of oil drops decreased, as shown by the confocal laser scanning microscope (CLSM)

【收稿日期】 2018-01-01

【基金项目】 国家自然科学基金项目(31601497, 31401515);国家肉品质量安全控制工程技术研究中心开放基金项目(M2015K06, M2016K01);陕西省农业协同创新与推广联盟重大项目(LMZD201702)

【作者简介】 郭 艳(1994-),女,甘肃白银人,硕士,主要从事动物产品加工与质量控制研究。E-mail:guoayan@139.com

【通信作者】 李志西(1958-),男,陕西临潼人,教授,博士生导师,主要从事谷物功能食品及发酵食品研究。

E-mail:lizhixi@nwsuaf.edu.cn

images. Scanning electron microscope (SEM) images showed that BC had a promising compatibility with meat particles, and the matrix of the patties containing BC was more compact. The storage modulus (G') and loss modulus (G'') of raw chicken increased with increasing BC content at constant temperature. G' and G'' decreased with increasing BC content during heating. DSC and FTIR results revealed that BC had no effect on denaturation and chemical groups of proteins. 【Conclusion】 Addition of BC (0.2%–1.0%) improved the water holding capacity of patties, as BC is a biological polysaccharide with high water retention. BC had no effect on the denaturation and chemical groups of proteins due to non-covalent forces with proteins. The best quality and textural properties were achieved with the BC addition of 0.6%.

Key words: bacterial cellulose; chicken quality; textural properties; non-covalent interactions; chicken processing

随着人民生活水平的提高,高品质肉类越来越受到消费者的青睐,提高肉类品质是当今肉制品行业的发展方向。保水性是影响肉的多汁性、嫩度以及适口性的重要属性^[1-2],水分损失与肉制品在加工和贮藏过程中的产量和质量有关^[3],因此保水能力是评价肉制品品质非常重要的指标。为了提高保水性,通常向肉制品中添加蛋白质、水、盐和碳水化合物等。

纤维素是一种来源丰富的天然生物多糖,具有广阔的应用前景,目前已受到广泛关注。其中羧甲基纤维素(CMC)、微晶纤维素(MCC)、羟丙基甲基纤维素(HPMC)作为稳定剂和增稠剂已被普遍应用到食品中^[4-6]。然而,有研究表明 HPMC 和 CMC 的凝胶网络结构较弱,且易受温度、pH 和盐浓度的影响,因而不是最佳的增稠剂和稳定剂^[7]。Gibis 等^[5]研究发现,添加 CMC 会使牛肉饼的微观结构、质构以及感官品质变差,在加热过程中阻止了蛋白质网络结构的形成。与 CMC 相比,MCC 能够和肉基质良好兼容,改善牛肉饼的质地,是一种较为优良的食品添加剂。然而, MCC 不能显著改善牛肉饼的保水性,在加热过程中水分损失较严重。

细菌纤维素(BC)也称微生物纤维素,是由木醋杆菌等微生物合成的存在于细胞外的纤维素^[8]。BC 无色无味,持水性好,拉伸强度较高,并且能够形成超细的纤维网^[9]。BC 和植物纤维素相比性质较为稳定,不受温度、pH 和离子强度的影响,且氢键含量较多,可通过氢键作用与蛋白质良好兼容,是一种优良的食品增稠剂^[10]。此外,BC 对人体具有许多独特的功能,不能被人体吸收,可优化肠道环境,具有整肠和预防便秘等功能。另外,BC 在中国东北和菲律宾是被广泛食用的传统食品(椰果)^[11-12],因此可以作为食品或食品添加剂使用。Lin 等^[13]研究指出,将 BC 应用到香肠、肉肠或肉饼中,在一定添

加范围内肉制品的感官品质不受 BC 的影响,但是可以减少食盐的用量,成为发展低脂低盐健康食品的首选添加剂。薛璐等^[14]将 BC 作为脂肪模拟物应用到肉肠的加工当中,证明 BC 可以赋予肉肠良好的口感和组织状态,并可最大限度地降低肉肠的热量。

目前,BC 作为肉制品保水剂和稳定剂的研究尚不全面,其对鸡肉中蛋白质的化学结构和性质是否有影响尚未见报道。因此,本研究以 BC 为食品添加剂,研究其对鸡肉饼的保水性和质构的影响,并探讨 BC 对鸡肉蛋白质性质的影响,阐明 BC 与蛋白之间的相互作用类型,以期 BC 在鸡肉加工中的应用提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

细菌纤维素(BC)由西北农林科技大学发酵创新实验室提供;鸡胸肉购自陕西杨凌好又多超市。微晶纤维素(MCC)购自湖州市菱湖新望化学有限公司;Fast green 和尼罗红购自美国 Sigma 公司;戊二醛、钼酸、无水乙醇、乙酸异戊酯、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠均为国产分析纯级试剂。

1.2 仪器与设备

T-203 电子天平,美国丹佛;九阳榨汁机,济南九阳股份有限公司;多功能烤箱,无锡市双麦机械有限公司;CM-5 色度计,日本柯尼卡美能达公司;TA-XT plus 质构分析仪,英国微系统科技有限公司;AR1000 流变仪,美国 TA 仪器公司;Q2000 差示扫描量热仪,美国 TA 仪器公司;Vetex70 傅里叶中红外光谱仪,德国布鲁克公司;A1R 激光共聚焦扫描显微镜,日本尼康公司;S-4800 场发射扫描电子显微镜,日立高新技术公司。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 Gibis 等^[5]研究发现,添加质量

分数 2.0% MCC 可以改善牛肉饼的质地和微观结构,因此本研究选择添加质量分数 2.0% MCC 的鸡肉作为对照组之一。鸡肉饼的制备参考 Naveena 等^[15]的方法并稍作修改,将鸡肉剔除筋键,用绞肉机绞碎备用。利用九阳榨汁机将 BC 打浆,时间为 2 min,分别制备质量分数为 2%,6%,10% BC 悬浮液,同时制备质量分数为 20% MCC 悬浮液。取不同质量分数 BC 和 MCC 悬浮液与鸡肉混合(m (悬浮液): m (鸡肉)=1:9),则所得鸡肉中 BC 质量分数分别为 0.2%,0.6%和 1.0%,MCC 的质量分数为 2.0%(分别记为处理 0.2% BC、0.6% BC、1.0% BC 和 2.0% MCC)。试验同时设 100% 鸡肉(CM)和 90% 鸡肉+10% 水(CW)为对照组。随后添加鸡肉和悬浮液总质量 1.2% 的食盐,用搅拌机搅拌 2 min 使其混合均匀,取(60±1) g,用大小相同的模型制备鸡肉饼(厚 1.2 cm,直径 9 cm),随后放入 220 °C 多功能烤箱烘烤 7.5 min。

1.3.2 水分损失测算 称取鸡肉饼烘烤之前的质量记为 M_0 ,烘烤之后冷却至室温的质量记为 M_1 ,则水分损失按照以下公式计算:

$$\text{水分损失率} = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100\%$$

1.3.3 质构测定 利用取样器从鸡肉饼中心取样,将其切成高 0.8 cm,直径 1.2 cm 的圆柱体,用质构仪测定鸡肉饼的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性及回弹力等指标。质构仪参数设定为:P50 探头,测前、测中、测后速度均为 1.00 mm/s,触发力 5 g,压缩比 30%。

1.3.4 颜色测定 利用色差计测定不同鸡肉饼表面的颜色参数:亮度(L^*),其值越大,亮度越高;红度(a^*),正值表示接近红色,负值表示接近绿色;黄度(b^*),正值表示接近黄色,负值表示接近蓝色。总色差(ΔE^*)使用下列公式计算:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

式中: ΔL^* , Δa^* , Δb^* 是其他几种处理样品的颜色值与 CM 处理样品之间的差值。

1.3.5 微观结构观察 采用激光共聚焦扫描显微镜(CLSM)和电子扫描显微镜(SEM)观察鸡肉饼的微观结构。用于 CLSM 观察的样品为厚度约 1 mm 的鸡肉饼小块,将其置于载玻片上,用 10 μ L 含 Fast green (0.38 g/L)和尼罗红(0.38 g/L)的混合染液染色 1 h 后用盖玻片覆盖,然后将其倒置在显微镜镜头下观察,图片放大倍数为 10 \times 。

用于 SEM 观察的样品制备参考 Wu 等^[16]的方

法并稍作修改。将烘烤之后的样品切成 3 mm \times 3 mm \times 1 mm 的小块,置于体积分数 2.5% 戊二醛中固定 6 h,随后用 0.1 mol/L PBS(pH=7.4)漂洗 4 次,每次 10 min;采用体积分数 1% 锇酸固定 1~2 h 后用上述 PBS 漂洗 3 次,每次 10 min。随后采用体积分数为 30%,50%,70%,80%和 90%乙醇进行梯度脱水,每次 15 min;用体积分数 100%乙醇脱水 2 次,每次 30 min;最后将样品置于乙酸异戊酯中置换,观察前干燥,喷金。

1.3.6 储能模量(G')和损耗模量(G'')测定 利用 AR1000 动态流变仪对 1.3.1 节所得的生鸡肉混合物进行频率扫描和温度扫描,选择 40 mm 平行平板,间隙为 1 mm。温度扫描参数设定为:25~80 °C,升温速率 2 °C/min,频率 0.1 Hz,应变 1%。频率扫描参数设定为:0.1~80 Hz,保持温度为 25 °C,应变 1%。试验进行过程中应用石蜡液封防止水分挥发散失^[17]。

1.3.7 蛋白变性温度和焓值测定 称取约 15 mg 生鸡肉混合物于铝制坩埚中,以相同的空坩埚作为对照,氮气为保护气,利用差示扫描量热仪对鸡肉蛋白的热力学性质进行测定,试验条件设定为:温度 20~100 °C,温度斜坡 5 °C/min。

1.3.8 蛋白化学结构和化学基团测定 取少量鸡肉饼样品进行冷冻干燥,采用溴化钾压片法制备固体粉末样品。准确称取 100 mg 干燥至恒定质量的溴化钾粉末于玛瑙研钵中充分研磨,再加入 1 mg 样品粉末继续研磨至样品与溴化钾粉末混合均匀,称取 30 mg 混合物于红外光谱测定模具中,在压片机上 10 MPa 压 2 min,卸压取下薄片,于傅里叶中红外光谱仪(FTIR)上进行谱图测定,分析 BC 对鸡肉蛋白化学结构和化学基团的影响。测定参数设置:模式为透射模式,测定波数为 4000~400 cm^{-1} ,分辨率为 4 cm^{-1} 。

1.4 数据分析

采用 SPSS 20.0 和 EXCEL 2010 对试验数据进行处理。流变数据采用 Origin 7.0 进行分析。

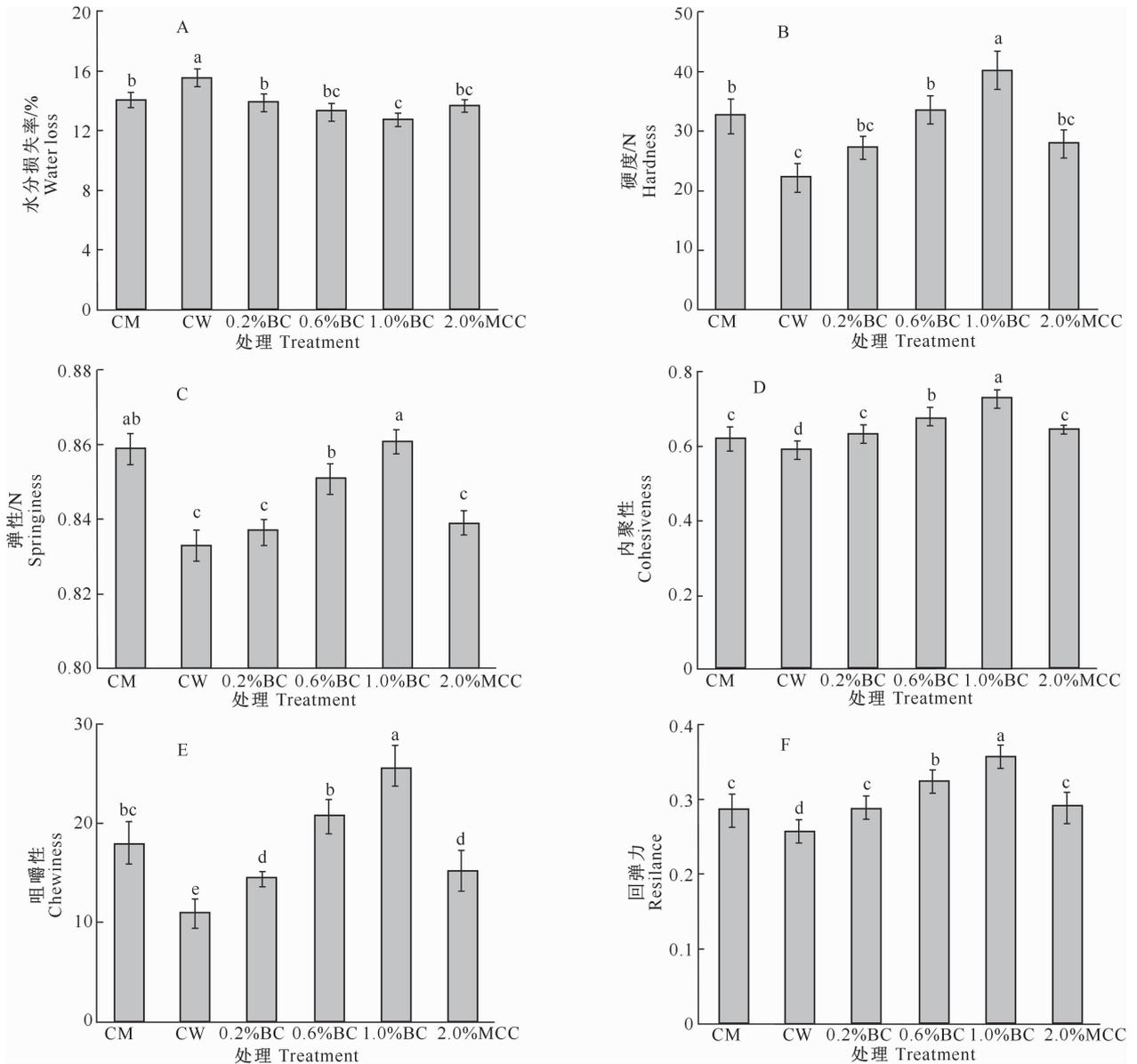
2 结果与分析

2.1 BC 对鸡肉饼水分损失和质构的影响

鸡肉饼的水分损失结果如图 1-A 所示,与 CM 处理(13.95%)相比,CW 处理水分损失率(15.48%)显著增加。BC 处理鸡肉饼的水分损失率均显著低于 CW 处理,这与前人的研究结果^[5]一致;BC 处理的水分损失率与添加 2.0% MCC 处理差异

不显著,但 MCC 的添加量至少是 BC 的 2 倍,表明 BC 的保水性更好。这是由于 BC 本身持水性较强,且 BC 分子间可以通过氢键和范德华力等相互作用

形成三维网络,将其添加至鸡肉中可以形成一定的腔室结构,作为机械屏障阻止水分流失,因而能够有效地降低鸡肉饼的水分损失。



图中不同小写字母表示差异达显著水平($P < 0.05$)。下图同

Different lowercase letters mean significant difference ($P < 0.05$). The same below

图 1 BC 对鸡肉饼水分损失和质构的影响

Fig. 1 Effects of BC on water loss and textures of chicken patties

鸡肉饼质构测定结果如图 1-B—F 所示,与 CM 处理相比,CW 处理鸡肉饼的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性及回弹力均显著降低,表明水的添加会使肉的质地变差^[18]。随着 BC 添加量的增加,鸡肉饼的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性及回弹力有所增加,这是由于 BC 作为水不溶性纤维,本身具有刚性,且能够形成三维网络结构,因而鸡肉饼硬度增大。图 1-C 显示,0.6%~1.0% BC 处理鸡肉饼的弹性与 CM 相比差异不显著,这是因为 BC 是一种大分子多糖,在

加热过程中阻碍了蛋白质网络结构的形成,进而减弱蛋白质的凝胶特性,因此导致鸡肉饼弹性变差。内聚性是反映样品内部结构破坏难易程度的指标。添加 0.2% BC 时,鸡肉饼的内聚性与 CM 处理差异不显著;继续增加 BC,鸡肉饼的内聚性显著增加(图 1-D)。这一方面是由于 BC 之间可以形成三维网络结构,另一方面 BC 和鸡肉中盐溶蛋白相互作用导致鸡肉饼内聚性增强^[19]。添加 2.0% MCC 处理的鸡肉饼硬度、弹性及咀嚼性较 CM 处理显著降低,这

与前人的研究结果^[20]一致。2.0% MCC处理鸡肉饼的质构指标与0.2% BC处理之间无显著差异,但MCC添加量为BC的10倍,表明BC是优于MCC的质构改良剂。综上可得,BC的添加可有效降低鸡肉饼的水分损失和改善肉制品质地,其中0.6% BC处理产生的效果最佳,过量的添加会使鸡肉的质地过硬,产生不良的咀嚼性。

2.2 BC对鸡肉饼颜色的影响

由表1可知,添加BC后鸡肉饼的 L^* 值有所增大,由72.38(CW处理)增加至75.29(0.2% BC处

理),这一方面是由于添加BC之后,鸡肉饼表面的折射率增大,亮度增加;另一方面是由于BC本身为白色,因此将其添加至鸡肉中可提高鸡肉饼的亮度。各处理样品的 a^* 和 b^* 分别为3.31~4.36和22.95~24.45。 ΔE^* 代表的是其他处理与CM处理之间的颜色差,Stokes等^[21]研究发现,人眼能够观察到物品颜色差异的 ΔE^* 值大约为2.56,本研究中各处理样品的 ΔE^* 均小于2.40,因此人眼不会观察到各样品颜色的显著差异,表明添加BC不会对鸡肉饼的颜色造成负面的感官影响。

表1 BC对鸡肉饼颜色的影响

Table 1 Effects of BC on color parameters of chicken patties

处理 Treatment	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
CM	73.87±0.19 cd	4.07±0.17 ab	24.45±0.45 a	—
CW	72.38±0.19 f	4.36±0.45 a	24.00±0.27 ab	1.58±0.23 ab
0.2% BC	75.29±0.33 ab	3.31±0.18 c	23.43±0.17 ab	1.90±0.18 ac
0.6% BC	73.49±0.17 de	4.02±0.06 ab	23.64±0.20 ab	0.89±0.15 b
1.0% BC	74.39±0.05 bcd	3.65±0.57 bc	22.95±0.02 b	1.64±0.11 ab
2.0% MCC	76.25±0.36 ac	4.22±1.04 ab	24.22±1.77 a	2.39±0.20 a

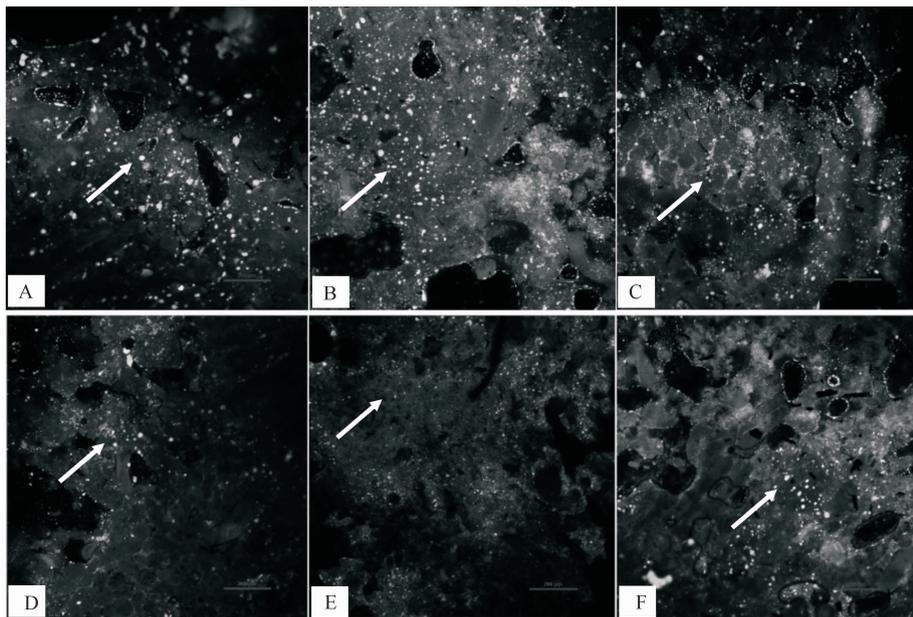
注:同列数据后标不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。下表同。

Note: Different lowercase letters represent significant difference at $P<0.05$. The same below.

2.3 BC对鸡肉饼微观结构的影响

图2为鸡肉饼样品的CLSM图,图中黑色孔洞由加热过程中水分损失所引起,随着BC添加量的增加,孔洞的大小和数量均减小,鸡肉饼的结构更加紧密,这与BC的高保水性和非共价相互作用有关。

保油性也是鸡肉饼重要特性之一,由图2可知,随BC添加量的增加,油滴尺寸逐渐减小且分布更加均匀,表明BC的添加改善了油滴分布的均匀性和稳定性,这是因为BC纤维丝吸附在油滴表面形成空间位阻效应,阻止了油滴的聚集^[22]。



A. CM处理;B. CW处理;C. 0.2% BC处理;D. 0.6% BC处理;E. 1.0% BC处理;F. 2.0% MCC处理;图中箭头所指为油滴

A. CM treatment; B. CW treatment; C. 0.2% BC treatment; D. 0.6% BC treatment; E. 1.0% BC treatment;

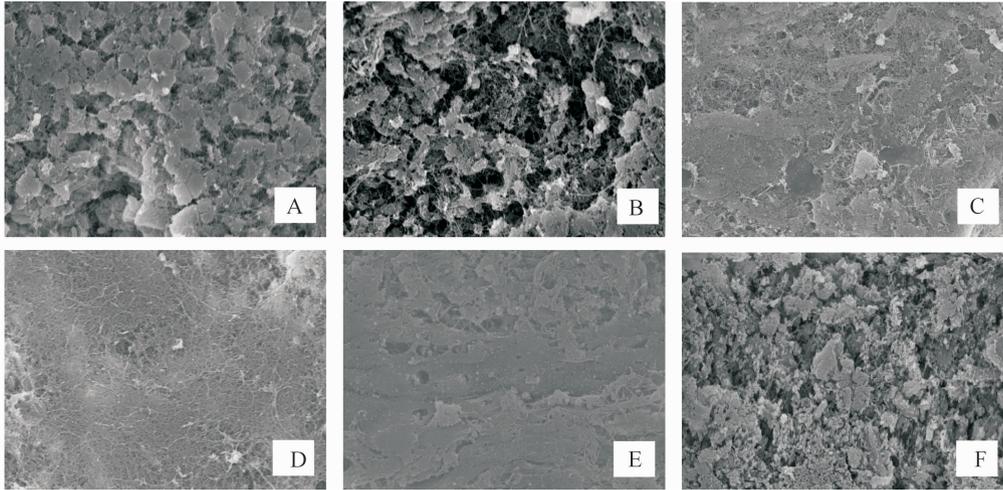
F. 2.0% MCC treatment; The arrows indicate oil drops

图2 BC对鸡肉饼微观结构影响的CLSM观察

Fig. 2 CLSM observation of the effects of BC on microstructure of chicken patties

图 3 为鸡肉饼样品的 SEM 扫描图片,由图 3 可知,CW 处理与 CM 处理相比网络结构更加清晰(图 3-A-B),这是由于添加 10% 水之后,鸡肉中更多盐溶蛋白溶解,而烘烤过程中的加热有助于盐溶蛋白三维网络结构的形成^[23]。添加 BC 之后,鸡肉饼的微观结构更加紧凑致密(图 3-C-E),这是由于 BC

与鸡肉蛋白之间存在氢键和范德华力作用,两者结合良好,因而微观结构随 BC 添加量的增加更加紧密,这与鸡肉饼硬度增加结果相符。添加 2.0% MCC 鸡肉饼的结构也有所改善,这是由于 MCC 粒子可以填充到肉基质空隙中形成比较紧凑的结构(图 3-F)。



A. CM 处理;B. CW 处理;C. 0.2% BC 处理;D. 0.6% BC 处理;E. 1.0% BC 处理;F. 2.0% MCC 处理

A. CM treatment;B. CW treatment;C. 0.2% BC treatment;D. 0.6% BC treatment;E. 1.0% BC treatment;F. 2.0% MCC treatment

图 3 BC 对鸡肉饼微观结构影响的 SEM 观察

Fig. 3 SEM observation of the effects of BC on microstructure of chicken patties

2.4 BC 对生鸡肉 G' 和 G'' 的影响

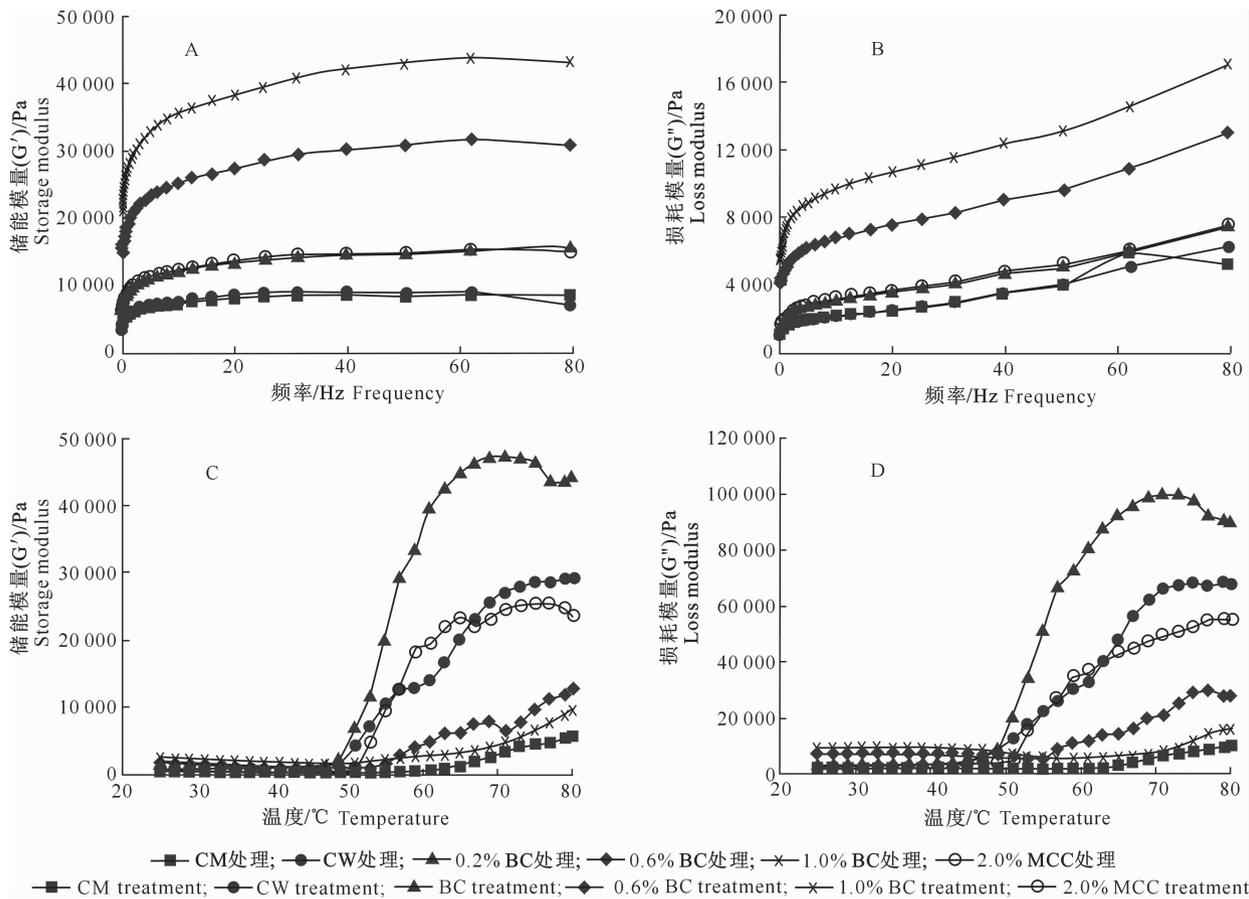
G' 是反映鸡肉弹性特征的参数,其值越大,形成凝胶的能力越强; G'' 是反映鸡肉粘性特征的参数。由图 4-A 和图 4-B 的频率扫描结果可知,所有样品的 G' 均大于 G'' ,表明其都具有凝胶特性^[24],在猪肉中添加淀粉也有相似的结果^[25]。添加 BC 之后,鸡肉的 G' 值和 G'' 值均增大,这与 Sun 等^[26] 的研究结果一致,表明 BC 可以增加生鸡肉的粘弹性,这是由于 BC 与蛋白之间存在非共价相互作用,例如氢键和范德华力^[27-28]。CM 处理与 CW 处理的 G' 、 G'' 值相近,这是由于添加 10% 水使更多盐溶蛋白溶解到盐溶液中,蛋白之间形成更多三维网络结构^[29],因此阻止了 CW 样品的 G' 和 G'' 值降低。MCC 是一种不带电的水不溶性多糖,其与蛋白有良好的兼容性,因此可填充到蛋白网络结构的空隙中,导致蛋白结构更加紧凑,因此 2.0% MCC 处理与 CM 和 CW 处理相比, G' 和 G'' 均增大。

图 4-C 和图 4-D 为鸡肉温度扫描的结果。由图 4-C 和图 4-D 可知,在加热过程中, G' 与 G'' 随 BC 添加量的增加而降低,这可能是由于 BC 的添加量较大时,BC 的空间位阻效应能够在一定程度上阻碍盐

溶蛋白交联;也可能是在加热过程中 BC 可以吸收一部分水,因而破坏或稀释了蛋白质凝胶基质^[30],从而导致鸡肉在加热过程中粘弹性降低。与 CM 处理相比,CW 处理在 45~80 °C 时 G' 和 G'' 急剧增加,这是由于更多的盐溶蛋白从肉中渗透出来所致。

2.5 BC 对鸡肉蛋白变性温度的影响

生鸡肉中盐溶蛋白变性温度和热焓值如表 2 所示,所有样品在加热过程中均有 3 个特征峰,温度分别在 53 °C 左右,63 °C 左右和 72 °C 左右,分别对应着肌球蛋白头部、肌球蛋白尾部和肌浆蛋白、肌动蛋白的变性,这与 Ali 等^[31] 的研究结果一致。与 CM 处理相比,其他几种处理鸡肉的第 1 特征峰 T_{max} 略微增大,这可能是由于水的高热容量引起的。然而 BC 处理的鸡肉与 CM 处理、2.0% MCC 处理相比,3 个特征峰 T_{max} 变化均不显著,表明添加 BC 不会引起或阻止蛋白质的变性。热焓值代表在加热过程中蛋白质中氢键断裂所需要的能量,BC 可以阻碍蛋白质之间的相互作用,也可以防止由于加热引起的蛋白质聚集,因此添加 BC 可以显著降低第 1,2,3 特征峰的 ΔH ,BC 添加量较高时更为明显(表 2),这与前人的研究结果^[32] 一致。



A. 频率扫描 G' ; B. 频率扫描 G'' ; C. 温度扫描 G' ; D. 温度扫描 G''

A. G' of frequency sweep; B. G'' of frequency sweep; C. G' of temperature sweep; D. G'' of temperature sweep

图4 BC对生鸡肉 G' 和 G'' 的影响

Fig. 4 Effects of BC on G' and G'' of raw chicken

表2 BC对鸡肉蛋白变性温度和热焓的影响

Table 2 Effects of BC on denaturation temperature (T_{max}) and enthalpy (ΔH) of chicken protein

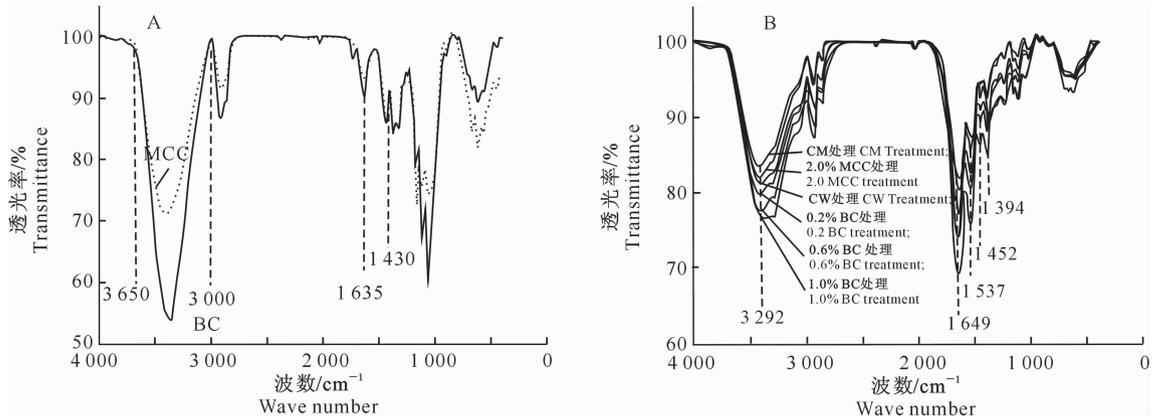
处理 Treatment	第1特征峰 The first characteristic peak		第2特征峰 The second characteristic peak		第3特征峰 The third characteristic peak	
	$T_{max}/^{\circ}\text{C}$	$\Delta H/(\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$	$T_{max}/^{\circ}\text{C}$	$\Delta H/(\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$	$T_{max}/^{\circ}\text{C}$	$\Delta H/(\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$
CM	53.16±0.24 b	0.356±0.012 ab	63.04±0.20 a	0.233±0.016 a	72.23±0.34 ab	0.330±0.026 a
CW	53.79±0.05 a	0.360±0.014 a	63.18±0.53 a	0.195±0.021 b	72.63±0.21 a	0.264±0.033 b
0.2% BC	53.59±0.35 ab	0.331±0.023 ab	63.24±0.35 a	0.214±0.013 ab	72.51±0.12 ab	0.246±0.023 bc
0.6% BC	53.68±0.23 ab	0.295±0.014 c	63.28±0.23 a	0.193±0.013 b	72.25±0.45 ab	0.216±0.022 c
1.0% BC	53.65±0.34 ab	0.254±0.020 d	63.19±0.34 a	0.210±0.012 ab	72.42±0.21 ab	0.151±0.022 d
2.0% MCC	53.52±0.51 ab	0.327±0.020 b	62.94±0.51 a	0.204±0.010 b	72.00±0.46 b	0.205±0.019 c

2.6 BC对鸡肉蛋白化学结构的影响

图5-A为BC和MCC的FTIR结果,3 000~3 650 cm^{-1} 处的吸收峰是纤维素中-OH的伸缩振动引起的;2 900 cm^{-1} 处的吸收峰代表-CH的振动;1 635 cm^{-1} 是水吸收峰,BC在此处的峰强度较大,这是由于BC与MCC相比具有较多的游离羟基,极易与水通过离子-偶极或偶极-偶极相互作用,因此持水力较强。

图5-B为鸡肉饼样品的FTIR图谱,图中1 537

cm^{-1} 处的峰是鸡肉蛋白酰胺I带中C=O振动引起^[33],1 649 cm^{-1} 处的峰对应酰胺II带中C-N-H和C-N的振动,1 452 cm^{-1} 和3 292 cm^{-1} 处的峰分别对应C-H键和N-H键的振动。由图5-B可知,几种处理FTIR曲线峰的位置未发生明显的变化,说明BC不会引起鸡肉中蛋白质化学结构和化学基团的变化。DSC和FTIR结果有力地证明BC与盐溶蛋白之间未发生化学反应,而是通过非共价键相互作用的。



A. BC 和 MCC 的 FTIR 图谱; B. 不同处理鸡肉饼的 FTIR 图谱

A. Fourier transform infrared (FTIR) spectra of BC and MCC; B. FTIR spectra of chicken patties in different treatments

图 5 BC 对鸡肉蛋白化学结构的影响

Fig. 5 Effects of BC on chemical structure of chicken protein

3 讨论与结论

本研究将不同质量分数的 BC 添加到鸡肉中, 由于 BC 与盐溶蛋白之间存在非共价相互作用(例如氢键和范德华力), 因而可以显著改善鸡肉饼的保水特性和质地, 当 BC 添加量为 0.6% 时, 其对鸡肉饼的品质改善效果最佳。温度不变时, 鸡肉的 G' 和 G'' 随 BC 添加量的增加而升高, 且各样品的 G' 均大于 G'' , 表明鸡肉的凝胶特性大于流动特性。温度增加时, G' 随 BC 添加量的增加而降低, 表明 BC 的添加量较大时, 高浓度 BC 的空间位阻效应能在一定程度上阻碍盐溶蛋白的交联, 或在加热过程中 BC 可以吸收一部分水, 因而破坏或稀释了蛋白质凝胶基质。DSC 结果表明, BC 不影响鸡肉中蛋白质的变性, 证明 BC 与盐溶蛋白之间未发生化学作用。FTIR 图谱显示, 几种处理鸡肉饼曲线峰的位置没有发生明显变化, 说明鸡肉中蛋白质的化学结构和化学基团未发生改变, 进一步证明 BC 与盐溶蛋白之间存在的力为非共价作用力。与 2.0% MCC 相比, BC 的添加量较少, 但鸡肉饼的持水力更强, 微观结构更紧凑, 表明 BC 在食品加工领域中是一种富有潜力的水分保持剂和质地改良剂。本研究可为 BC 在食品中的应用提供理论基础, 同时也可为高品质肉制品的开发提供参考。

[参考文献]

[1] Phelps K J, Drouillard J S, Jennings J S, et al. Effect of the programmed nutrition beef program on moisture retention of cooked ground beef patties and enhanced strip loins [J]. *Meat Science*, 2015, 100(100): 189-194.

[2] 周 坤, 盖 静. 西式火腿类肉制品保水性问题探析 [J]. *肉类工业*, 2016, 37(12): 6-8.
Zhou K, Gai J. Questions discussion on water retention of western-style ham class meat products [J]. *Meat Industry*, 2016, 37(12): 6-8.

[3] 吴亮亮, 罗瑞明, 孔 丰, 等. 蒸煮时间对滩羊肉蒸煮损失、嫩度及水分分布的影响 [J]. *食品与机械*, 2016, 32(4): 19-23.
Wu L L, Luo R M, Kong F, et al. Effect of cooking loss, tenderness and water distribution of Tan sheep at different cooking time treatment [J]. *Food and Machinery*, 2016, 32(4): 19-23.

[4] 薛玉清, 舒成亮, 余立意, 等. 微晶纤维素特性及其在中性乳饮料中的应用研究 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(8): 3143-3147.
Xue Y Q, Shu C L, Yu L Y, et al. Characteristics of microcrystalline cellulose and its application in neutral dairy beverage [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2016, 7(8): 3143-3147.

[5] Gibis M, Schuh V, Weiss J, et al. Effects of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) as fat replacers on the microstructure and sensory characteristics of fried beef patties [J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 45: 236-246.

[6] Ahmadi M, Madadlou A, Saboury A A, et al. Whey protein aerogel as blended with cellulose crystalline particles or loaded with fish oil [J]. *Food Chemistry*, 2016, 196: 1016-1022.

[7] Paximada P, Tsouko E, Kopsahelis N, et al. Bacterial cellulose as stabilizer of o/w emulsions [J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 53: 225-232.

[8] 夏 文, 李 政, 徐银莉, 等. 发酵原料对细菌纤维素产量的影响研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2017, 38(2): 358-363.
Xia W, Li Z, Xu Y L, et al. Progress in the influence of the fermentation feedstocks on bacterial cellulose production [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(2): 358-363.

[9] Feng X, Ullah N, Wang X, et al. Characterization of bacterial cellulose by gluconacetobacter hansenii CGMCC 3917 [J]. *Journal of Food Science*, 2015, 80(10): 2217-2227.

- [10] Wang X, Ullah N, Sun X, et al. Development and characterization of bacterial cellulose reinforced biocomposite films based on protein from buckwheat distiller's dried grains [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 96: 353-360.
- [11] Shi Z, Zhang Y, Phillips G O, et al. Utilization of bacterial cellulose in food [J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 35(1): 539-545.
- [12] 王志国, 钟春燕, 王锡彬, 等. 椰子水自然发酵条件对细菌纤维素生产的影响 [J]. *中国酿造*, 2009, 28(4): 32-34.
Wang Z G, Zhong C Y, Wang X B, et al. Effects of natural fermentation conditions of coconut juice on the production of bacterial cellulose [J]. *China Brewing*, 2009, 28(4): 32-34.
- [13] Lin K W, Lin H Y. Quality characteristics of Chinese-style meatball containing bacterial cellulose (Nata) [J]. *Journal of Food Science*, 2010, 69(3): 107-111.
- [14] 薛 璐, 杨 谦, 李晓东. 细菌纤维素在低脂肉肠中的应用 [J]. *食品科学*, 2005, 26(3): 272-274.
Xue L, Yang Q, Li X D. Application of bacterial cellulose to low-fat sausage [J]. *Food Science*, 2005, 26(3): 272-274.
- [15] Naveena B M, Sen A R, Vaithyanathan S, et al. Comparative efficacy of pomegranate juice, pomegranate rind powder extract and BHT as antioxidants in cooked chicken patties [J]. *Meat Science*, 2008, 80(4): 1304-1308.
- [16] Wu M, Xiong Y L, Chen J. Rheology and microstructure of myofibrillar protein-plant lipid composite gels; effect of emulsion droplet size and membrane type [J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 106(4): 318-324.
- [17] 李 杨, 刘宝华, 姜 楠, 等. 超声处理对黑豆蛋白凝胶性能的影响 [J]. *中国食品学报*, 2017, 17(1): 161-169.
Li Y, Liu B H, Jiang N, et al. Effects of ultrasound treatment on gelling properties of black bean protein isolate [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(1): 161-169.
- [18] 施冰心, 董庆利, 刘宝林, 等. 增稠剂提高牛肉持水性的配方研究 [J]. *肉类研究*, 2010, 24(4): 18-20.
Shi B X, Dong Q L, Liu B L, et al. Improvement of water holding capacity of the beef by food thickeners [J]. *Meat Research*, 2010, 24(4): 18-20.
- [19] Marchetti L, Andrés S C, Califano A N, et al. Textural and thermal properties of low-lipid meat emulsions formulated with fish oil and different binders [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 51(2): 514-523.
- [20] 陈珍珍, 刘爱国, 李晓敏, 等. 微晶纤维素的特性及其在食品工业中的应用 [J]. *食品工业科技*, 2014, 35(4): 380-383.
Chen Z Z, Liu A G, Li X M, et al. Characteristics and application of microcrystalline cellulose in food industry [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(4): 380-383.
- [21] Stokes M, Fairchild M D, Berns R S. Precision requirements for digital color reproduction [J]. *Acm Transactions on Graphics*, 1992, 11(4): 406-422.
- [22] Paximada P, Koutinas A A, Scholten E, et al. Effect of bacterial cellulose addition on physical properties of WPI emulsions, comparison with common thickeners [J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 54: 245-254.
- [23] 亢春雨, 赵春青. 鸡胸肉盐溶蛋白热诱导凝胶保水性和超微结构的研究 [J]. *食品科学*, 2007, 28(1): 50-53.
Kang C Y, Zhao C Q. Study on WHC and ultrastructure of heat-induced gelation of CB salt-soluble protein [J]. *Food Science*, 2007, 28(1): 50-53.
- [24] 唐敏敏, 洪 雁, 顾正彪, 等. 黄原胶对绿豆淀粉糊化和流变特性的影响 [J]. *食品科学*, 2013, 34(21): 42-46.
Tang M M, Hong Y, Gu Z B, et al. Effect of xanthan on pasting and rheological properties of mung bean starch [J]. *Food Science*, 2013, 34(21): 42-46.
- [25] 栗俊广, 蒋爱民, 白艳红, 等. 木薯淀粉对猪肉盐溶蛋白凝胶特性的影响 [J]. *现代食品科技*, 2016, 32(11): 123-127.
Li J G, Jiang A M, Bai Y H, et al. Effect of cassava starch on the gel properties of pork salt-soluble muscle proteins [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(11): 123-127.
- [26] Sun L, Chen W, Liu Y, et al. Soy protein isolate/cellulose nanofiber complex gels as fat substitutes: rheological and textural properties and extent of cream imitation [J]. *Cellulose*, 2015, 22(4): 2619-2627.
- [27] Martínez-sanz M, López-rubio A, Lagaron J M, et al. Optimization of the nanofabrication by acid hydrolysis of bacterial cellulose nanowhiskers [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 85(1): 228-236.
- [28] Ahmadi M, Madadlou A, Sabouri A A, et al. Isolation of micro- and nano-crystalline cellulose particles and fabrication of crystalline particles-loaded whey protein cold-set gel [J]. *Food Chemistry*, 2015, 174: 97-103.
- [29] Yasin H, Babji A S, Ismail H, et al. Optimization and rheological properties of chicken ball as affected by κ -carrageenan, fish gelatin and chicken meat [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 66(66): 79-85.
- [30] Cardoso C, Mendes R, Nunes M L. Effect of transglutaminase and carrageenan on restructured fish products containing dietary fibers [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2007, 42(42): 1257-1264.
- [31] Ali S, Zhang W, Rajput N, et al. Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat [J]. *Food Chemistry*, 2015, 173(8): 808-814.
- [32] Lorén N, Hermansson A M. Phase separation and gel formation in kinetically trapped gelatin/maltodextrin gels [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2000, 27(4): 249-262.
- [33] 张秋会, 黄现青, 李苗云, 等. 傅里叶红外光谱法研究肌肉蛋白质的二级结构 [J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(10): 247-251.
Zhang Q H, Huang X Q, Li M Y, et al. Study on secondary structure of meat protein by FTIR [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2015, 41(10): 247-251.