

冷冻鸡肉品质的研究进展

王艳芳, 林捷, 郑华*
(华南农业大学食品学院, 广东 广州 510642)

摘要: 冷冻是加工鸡肉的一种普遍且有效的方法。本文主要介绍了快速冻结能够使鸡肉的汁液流失率降低、肌原纤维盐溶性蛋白及 Ca^{2+} -ATPase活性下降减少, 并且提高鸡肉色泽的亮度。随冻藏时间的延长, 鸡肉的脂肪氧化和蛋白质变性加剧; 但在一定冻藏期内, 冷冻鸡肉的脂肪氧化和蛋白质变性程度不大, 鸡肉还是新鲜的。一般认为快速冻结和低温冷藏是加工鸡肉产品比较理想的加工工艺。但考虑到实际生产应用, 超快速冻结和极低温冷藏对鸡肉加工是不必要的。

关键词: 冷冻速率; 冻藏温度; 冻藏时间; 鸡肉

Research Progress on the Quality of Frozen Chicken

WANG Yan-fang, LIN Jie, ZHENG Hua*
(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Freezing is a common and effective method for processing chicken. Fast freezing could reduce chicken drip loss and the decrement of Ca^{2+} -ATPase activity and salt-solubility of myofibrillar protein, and improve the brightness of chicken color. Fat oxidation and protein denaturation in chicken become more prominent with the extension of freezing time, although showing only slight changes within a certain freezing time so that the chicken is still fresh. It is generally acknowledged that fast freezing and low-temperature refrigeration are suitable for chicken products. However, ultra-rapid freezing and extremely low-temperature refrigeration are unnecessary for chicken processing in practice.

Key words: freezing rate; frozen storage time; frozen storage temperature; chicken

中图分类号: TS251

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123(2013)12-0028-04

近年来, 我国鸡肉产量迅速增长, 据国家统计局《2012年国民经济和社会发展统计公报》数据显示, 2012年我国禽肉产量达到1823万吨, 占世界禽肉产量的20.87%^[1]。随着加工技术装备的不断改进与更新, 我国鸡肉加工的机械化程度显著提高, 鸡肉加工产业得到了迅猛发展, 鸡肉产品日益多样化, 消费量与日俱增^[2]。2001—2012年, 鸡肉消费量平稳增长, 2012年中国鸡肉消费量为1354.0万吨^[3], 已经成为仅次于猪肉的第2大肉类消费品。由于鸡肉本身的高蛋白及高水分等特性, 鸡肉很容易腐败变质, 尤其是在贮存过程中更易于腐败变质^[4]。有研究表明, 冷却和冷冻保藏能够有效地抑制鸡肉及其产品中微生物的生长, 并且可以改善肉类产品的安全性而提高其货架期^[5]。利用冻藏方法保鲜鸡肉既满足了人们追求方便卫生的需求, 又丰富产品种类。然而在冻结冻藏过程中水分损失引起的鸡肉品质下降, 致使出品率下降, 影响到产品的品质和企业效益^[6]。国内外研

究者对冷冻鸡肉制品也进行了广泛的研究, 本文主要对冻结速率、冻藏温度及冻藏时间对鸡肉品质产生的影响进行综述, 以期今后冷冻鸡肉制品的生产提供参考。

1 预冷方式对鸡肉品质的影响

预冷是生鲜鸡肉产品生产中的重要冷却工艺, 宰杀后的家禽, 肉体平均温度在37~40℃之间, 应立即冷却, 使肉体温度降至3~5℃^[7], 以避免鸡胴体温度过高而使鸡肉品质发生变化或由于微生物繁殖而影响鸡肉的品质。鸡肉的预冷主要是通过降低肉的温度达到降低腐败微生物生长速率和致病菌生长被抑制的点而生产一种安全的产品。禽类的冷却通常也会影响肉的风味、外观和质地等质量指标。水冷(浸没式冷却、喷淋式冷却)和风冷是常见的预冷生鲜鸡肉产品的方法^[8]。

冷水冷却法是冷却鸡胴体最普通的方法, 有逆水和

收稿日期: 2013-10-14

作者简介: 王艳芳(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工与保藏。E-mail: wyfzgz@126.com

*通信作者: 郑华(1966—), 男, 副教授, 硕士, 研究方向为畜产品加工。E-mail: zhengh@scau.edu.cn



顺水式2种方式,其中逆水式冷却槽进行冷却比较安全卫生。使用逆水式冷却槽时,刚开始冷却水与鸡体接触的温度不超过16℃,冷却鸡体后,出水口水温不超过4℃。冷却槽应该有溢流装置,用以保持冷却水的清洁。操作时也应严格控制冷却水温度及使用量,以避免鸡体交叉感染^[9]。由于浸没式冷水冷却法易使禽体被微生物污染,欧洲各国已禁用此方法,而普遍采用冷空气冷却。国内一般采用在冷却间内禽体吊在挂钩上进行空气冷却。室温1~2℃、相对湿度80%~90%、风速1.0~1.2m/s,经过几小时,当禽体温度降低到3~5℃时,冷却即告结束^[7]。冯宪超等^[10]研究表明:水冷生鲜鸡肉的质构和外观优于风冷,水冷胴体的冷却速率高,而风冷的冷却速率较低;水冷过程胴体会吸收水分引起质量增加,风冷过程会造成胴体质量减少;滴水损失这2种冷却方式的生鲜鸡胴体之间没有显著差异。鉴于水冷和风冷各有优缺点,故采用较为适宜的两段冷却方式。两段冷却法是指鸡胴体冷却时配合使用冷空气冷却及冷水冷却^[9]。一般情况下,鸡胴体先经冷水冷却后,在1.1℃冷藏室中沥干,然后经快速冷空气冷冻(-40℃)20~45min左右,从而使鸡肉内部中心温度降低至-2.2℃,并使鸡肉表皮冻结收缩,把表皮内部筋膜层的水分挤出,以便保持鸡肉表皮干燥,最后鸡胴体在-2.2~-3.3℃保持5min,使鸡肉表面温度慢慢与冷空气温度一致,以有利于后续各工序。

2 冻结速率对鸡肉品质的影响

2.1 冻结速率对鸡肉内形成的冰晶的影响

根据冻结速率的快慢,冻结食品大致分为两类:冷冻食品和速冻食品。区分冷冻和速冻的方法有两种:按时间划分,食品热中心温度从0℃降至-5℃所用的时间,在30min之内的谓速冻,超过30min即谓冷冻;按距离划分,食品-5℃冻结面的推进速度达到5~20cm/h的为速冻,较慢的为冷冻^[11]。食品在冻结过程中会有冰晶的生成。Zhu等^[12]研究表明不同冻结速率的冻结方法会产生不同的冰晶:传统的空气冻结法(conventional air freezing, CAF)产生的大而不规则的冰晶会对肌肉组织产生不可逆的破坏;与CAF相比,乙二醇/水喷淋式冻结法(glycol/water bath freezing, GBF)有较高的冻结速率可以产生较小的冰晶,但是冰晶的横截面和圆整度有较大的偏差;压力移位冻结法(pressure shift freezing, PSF)能够产生大量小而规则的胞内冰晶。Martino等^[13]认为在冻结食品中冰晶的大小和位置是影响冻结食品质量的重要因素。在冷冻降温过程中,细胞外的溶液中首先出现冰晶,使得胞内外存在化学势差异。若之后继续采用较慢的降温速率,势差会促使细胞内的水分通过细胞膜,向外渗出,以保持细胞内外平衡,即细胞脱水。它使胞内溶

液浓度升高,相应地会带来细胞的蛋白损伤和细胞膜的不稳定,产生“溶质损伤”;若采用的是较快的降温速率,细胞内部的水分来不及外渗,就会出现胞内冰晶^[14-15]。

2.2 冻结速率对鸡肉失水率的影响

汁液流失率是评定冻结食品质量的重要指标之一,它与冻结速率有很大关系。牛力等^[16]在研究不同冻结速率对鸡胸肉品质的影响中发现:鸡胸肉的汁液流失率随冻结速率的增大而减小。实验中冻结速率为0.34cm/h的-15℃组解冻汁液流失率显著高于-35℃组(冻结速率为1.07cm/h)。刘著等^[17]和Yu Xiaoling等^[18]的研究也表明冻结速率越快,解冻汁液流失率越小。Khan^[19]对禽肉在冻结和冻藏过程中生化变化的研究也表明慢速冻结的汁液流失率(Drip)比快速冻结的汁液流失率低。慢速冻结使肌细胞间形成了大的冰晶体而引起组织结构的破坏导致鸡胸肉保水性显著降低,解冻后汁液流失率就比较大。但是冻结速率并不是越快越好,廖彩虎^[20]在不同冻结速率对温氏鸡的影响研究表明:随着冻结速率的增加,解冻后鸡胸肉汁液流失率在减少,但是当冻结速率继续从4.21cm/h增加到11.24cm/h时,其汁液流失率从0.85%增加组织破坏严重,蛋白质变性也更加严重,从而导致了汁液流失率过大。

2.3 冻结速率对鸡肉色泽的影响

鸡肉的色泽是鸡肉产品外观属性中最重要的因素之一,也是消费者选择鸡肉产品及其对产品满意度的关键因素^[21]。影响鸡肉色泽的因素有许多(pH值、氧分压、光线、冷冻和添加剂等),其中冻结速度对肌肉色泽的影响较为明显:快速冷冻的肉颜色较浅,慢速冻结的肉颜色较深^[22]。牛力等^[16]在研究不同冻结速率对鸡胸肉品质的影响中发现,冻结鸡肉的 L^* 值、 a^* 值随冻结速率的增大而增大, b^* 值随冻结速率的增大而减小。张懋平^[7]也指出慢速冻结的鸡肉表皮发红,而快速冻结的鸡肉表皮呈乳白色、微红;即冻结速度愈慢、肌色愈红、品质愈差;冻结速度愈快、肌色愈白、品质愈好。肉中的肌红蛋白氧化成氧化肌红蛋白(红褐色);肉的表面水分蒸发,增加了表层有色物质的浓度;表面冰结晶的形成,光线的散射和反射增加,使冻结肉色泽变得鲜明^[23]。付菊枝等^[24]也认为:当光线照射冷冻肉品时,在肉的浅表冻晶层发生反射。如果冰晶较大,肉品则呈红色;若冰晶较小,光线则很难通过“吸光组织”而使肉品呈白色。因此,当肉冷冻时,冷冻速率越快,肉的色泽越浅(光的反射现象);解冻时,便会恢复肉的自然深红色。

2.4 冻结速率对鸡肉盐溶性蛋白和Ca²⁺-ATPase酶活性的影响

按蛋白质的溶解特性可将鸡肉中的蛋白质分为水溶性的肌浆蛋白、盐溶性的肌原纤维蛋白和不溶性的基质蛋白3大类,其表现出完全不同的物性特性,通常肌原纤

维蛋白发生变性对鸡肉加工特性影响较大。肌原纤维蛋白具有ATP酶活性(ATPase)。冻结的鸡肉与新鲜鸡肉相比,其总蛋白的溶解度和 Ca^{2+} -ATPase的活性均下降^[25],但不同的冻结速率对鸡肉盐溶性蛋白及 Ca^{2+} -ATPase酶活性有不同的影响。快速冻结的鸡肉其肌原纤维蛋白的溶解度和 Ca^{2+} -ATPase酶活性要高于慢速冻结的鸡肉^[16],慢冻时,肌细胞外产生较大的冰晶,肌细胞内肌原纤维被挤压集结成束,并由于形成冰晶而使蛋白质失去结合水,导致蛋白质变性。而速冻时,冻结温度下降很快,肌细胞内产生的冰晶,数量多且细小均匀,对细胞损伤少,蛋白质变性程度也低。廖彩虎^[20]的研究表明:随着冻结速率的增加,冻结鸡的 Ca^{2+} -ATPase酶活性及肌原纤维盐溶性蛋白的含量呈下降趋势,但其降低率在减小;当冻结速率增加到一定程度时,其 Ca^{2+} -ATPase酶活性和肌原纤维蛋白盐溶性含量仍呈下降趋势,但下降率增加。超快速冻结导致鸡肉表面的冻裂,而使肌细胞损伤较大,从而使得蛋白质变性更加严重。

关于蛋白质变性相关的学说有细胞液的浓缩学说^[26]。随冻结温度降低,肉中的自由水首先生成冰晶而被析出,然后是析出一部分的结合水,在细胞内没有冻结的细胞液被浓缩,其结果增大了细胞液的离子浓度,使pH值也发生了变化,从而引起蛋白质的变性。此说法说明细胞内外的冰晶生成量和生成状态与蛋白质变性之间有着密不可分的关系。缓慢冻结时,首先在肌纤维间隙中产生冰晶,随冻结温度的降低,细胞内部的水分子透过细胞膜使细胞外冰晶长大(细胞外冻结)。快速冻结时,冻结温度下降极快,细胞内的水分子还没来得及透过细胞膜就已经在细胞内产生了冰晶(细胞内冻结)。细胞外冻结,形成的冰晶较大,蛋白质的变性也严重;细胞内冻结,形成的冰晶较小,蛋白质的变性也较小。

3 冻藏温度和时间对鸡肉脂肪氧化和蛋白质变性的影响

3.1 冻藏温度和时间对鸡肉脂肪氧化的影响

在冻藏过程中,富含不饱和脂肪的鸡肉易发生脂肪氧化而使鸡肉产品质量下降。Soyer^[27]研究发现在-7、-12℃和-18℃下冻藏鸡腿肉和鸡胸肉6个月,随冻藏时间的延长两者的硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)逐渐升高,特别是在冻藏前期TBARS含量迅速升高,说明在冻藏前期鸡肉发生了最大程度的脂肪氧化,而冻藏温度对脂肪的氧化无明显影响。孙金辉等^[28]在-18、-23℃和-73℃下对土鸡肉冻藏100d后的研究表明随冻藏时间的增加,鸡肉中TBARS值逐渐增大,且冻藏温度越高,TBARS增大越快。Pikul^[29]在-18℃冻藏鸡腿肉和鸡胸肉6个月,研究发现,随冻藏时间的延长,测得鸡腿肉和鸡胸肉

中丙二醛(malondialdehyde, MDA)和硫代巴比妥酸(thiobarbituric, TBA)的含量逐渐增大,鸡肉发生了脂肪氧化,这与Soyer的结论一致。牛力等^[30]在研究不同冻藏温度和时间对鸡胸肉食用品质的影响中也发现在相同温度下冻藏鸡肉,随冻藏时间延长,鸡肉的TBARS值逐渐增大,脂肪氧化程度越大;在相同冻藏时间内,冻藏温度越高,鸡肉的TBARS值越大,脂肪氧化程度越高。Tomas等^[31]对鸡胸肉的研究也表明冻藏时间会对脂肪氧化的TBA值产生显著影响,随冻藏时间的延长TBA值显著增大。Abdel-Kader^[32]和Igene等^[33]的研究也得出了相同的结论。

3.2 冻藏温度和时间对鸡肉蛋白质变性的影响

蛋白质的盐溶性是反应蛋白变性的常用指标,在冻藏过程中由于氢键、疏水键、二硫键、盐键的形成往往导致盐溶性蛋白的下降,且其下降程度与冻藏时间、温度等因素有关。冻结鸡肉在相同冻藏温度下,延长冻藏时间,鸡肉的肌原纤维蛋白溶解度逐渐下降,其蛋白变性程度越大^[30]。廖彩虎^[20]研究表明,温氏鸡盐溶性蛋白在冻藏过程中也发生了变性,且随着时间的延长,其蛋白变性程度也就越大。牛力等^[30]的研究表明,随冻藏时间延长,肌浆蛋白变性程度逐渐增大;肌原纤维蛋白和总蛋白变性程度随冻藏时间延长而增大,且冻藏温度越高,变性程度越大。Soyer^[27]和Khan^[19]的研究表明,随冻藏时间的延长,肌肉组织中巯基基团的含量减少,特别是冻藏初期巯基基团含量急剧下降,说明鸡肉蛋白在冻藏初期发生了剧烈氧化,随冻藏时间延长,变性程度越大。

4 解冻方式对鸡肉品质的影响

鸡肉的解冻是指从外界供给热能而将冻结鸡肉中所形成的冰晶融化成水的过程。冻结食品在消费或者加工前必须解冻,但产品质量的好坏不仅取决于冻结工艺,也与解冻过程密切相关。有大量文献研究了冻结速率对肉品质品质的影响,但研究解冻速率对肉品质影响的研究较少。关于解冻速率对食品品质的影响一直存在2种不同的观点^[34-36]:一种认为快速解冻使汁液没有充足的时间重新进入细胞中,造成大量汁液流失而影响产品质量;另一种观点认为快速解冻可以缩短生化反应和微生物繁殖的时间而保持食品良好的品质。

目前对于冻结鸡肉产品,常用的解冻方式有低温水、空气解冻,其优点是低温解冻可以减少汁液流失和蛋白质变性从而较好的保持食品品质;缺点是解冻时间长,易污染微生物且占据大量库存,不能满足现代化生产。近年来许多科研工作者开展了新型解冻方式的研究,并取得了较多的成果,如微波解冻、超声波解



冻、真空解冻、高/低频解冻、高压静电解冻等。但目前很多研究很大程度还是处于试验阶段。

5 结 语

冷冻加工使鸡肉产品的食用和贮运更加方便,也提高了鸡肉产品的保存时间。不同的冻结速率、冻藏温度和时间、解冻方式都对鸡肉产品的品质产生很大的影响。虽然随着冻藏时间的延长,鸡肉的脂肪氧化和蛋白质的变性会加剧,但在一定冻藏期内鸡肉的品质还是较好的。一般通过快速冻结和低温冷藏可以减少鸡肉的汁液流失,降低蛋白质的变性程度,减少 Ca^{2+} -ATPase酶活性的损失,从而改善冻结鸡肉制品的质量。但是根据Farouk等^[37]的研究表明:影响冻结牛肉质量的因素主要是冷藏时间和冻结时间及冻结速率相互作用。早在上世纪80年代,就有学者在冷冻牛肉实验中发现了液氮快速冻结比 -18°C 时的静止空气冻结对牛肉的微观结构的损坏严重^[38]。食品的冻结过程是由外及内的,表面的冰层像一个壳一样阻碍内部未冻相的相变体积膨胀,内部的压力升高到一定的程度就造成了低温断裂。而低温断裂严重影响冻结食品的质量,甚至使食品失去商品价值^[39-40]。因此在保证冻结鸡肉产品质量的前提下,从商业价值角度来考虑时,超快速冻结和极低温冷藏是不必要的。要理性的选择冻结速率、冻藏温度和时间及适宜的解冻方式,在保证产品质量的前提下,实现生产利润最大化。

参考文献:

- [1] 王宝维. 展望未来禽产品产业[J]. 中国畜牧杂志, 2013, 49(16): 11-16.
- [2] 王燕明. 2012年全球肉鸡产业发展状况及未来趋势[J]. 中国畜牧杂志, 2013, 49(2): 24-27.
- [3] 辛翔飞, 刘春芳, 王济民. 我国肉鸡产业发展现状、问题与对策[J]. 中国家禽, 2011, 33(4): 6-9.
- [4] 朱民望, 逢焕明, 王子荣, 等. 冻藏对不同品种鸡肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2012, 26(1): 45-48.
- [5] AL-JASSER M S. Effect of cooling and freezing temperatures on microbial and chemical properties of chicken meat during storage[J]. Food, Agriculture & Environment, 2012, 10(1): 113-116.
- [6] 张坤生, 马欣明, 任云霞, 等. 冷冻鸡肉块保水、保鲜的研究[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(6): 131-134.
- [7] 张懋平. 家禽冷加工工艺及速冻护色的研究[J]. 食品科学, 1993, 14(10): 24-27.
- [8] JAMES C, VINCENT C, ANDRADE LIMA T I, et al. The primary chilling of poultry carcasses: a review[J]. International Journal of Refrigeration, 2006, 29: 847-862.
- [9] 王光华. 冷却方法对鸡肉品质的影响[J]. 肉类工业, 1994(5): 37-38.
- [10] 冯宪超, 陈琳, 徐幸莲, 等. 风冷和水冷生鲜鸡肉品质的比较[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(4): 172-175.
- [11] 刘宝林. 食品冷冻冷藏学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 1-2.
- [12] ZHU Songming, Le BALL A, RAMASWAMY H S. Ice crystal formation in pressure shift freezing of Atlantic salmon (*Salmon salar*) as compared to classical freezing methods[J]. Journal of Food Processing Preservation, 2003, 27: 427-444.
- [13] MARTINO M N, OTERO L, SANZ P D, et al. Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods[J]. Meat Science, 1998, 50(3): 303-313.
- [14] MAZUR P, LEI BO S P, CHU E H Y. A two factor hypothesis of freezing injury evidence from Chinese hamster tissue culture cells[J]. Cell Research, 1972, 71: 354-355.
- [15] MAZUR P. Freezing of living cells: mechanisms and implications[J]. American Journal of Physiology, 1984, 247: 125-142.
- [16] 牛力, 陈景宜, 黄明, 等. 不同冻结速率对鸡胸肉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(10): 204-208.
- [17] 刘著, 罗敏, 陈尔卫, 等. 鸡肉品质受解冻速率的影响分析[J]. 中国食品, 2012(12): 70-73.
- [18] YU Xiaoling, LI Xuebin, XU Xinglian, et al. Effects of different freezing rates and thawing rates on the manufacturing properties and structure of pork[J]. Journal of Muscle Foods, 2010, 21: 177-196.
- [19] KHAN A W. Biochemical changes in poultry muscle during freezing and storage[J]. Journal of Cryobiology, 1966, 3(3): 224-229.
- [20] 廖彩虎. 冻结、解冻和冻藏对温氏鸡品质的影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010: 30.
- [21] FLETCHER D L. Poultry meat quality[J]. World's Poultry Science Journal, 2002, 58(2): 131-145.
- [22] 周光宏, 张兰威, 李洪军, 等. 畜产食品加工学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 112-116.
- [23] 田雪. 肉类在冻结过程中的变化[J]. 肉类研究, 2003, 17(2): 38-39.
- [24] 付菊枝, 弓盛梅. 冷冻对肉质量的影响[J]. 肉类工业, 2000(11): 34.
- [25] CHAN J T Y, OMANA D A, BRTTI M, et al. Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat[J]. Food Chemistry, 2011, 127: 109-117.
- [26] 杨贤庆. 鱼糜冷冻变性及其防止[J]. 制冷, 1994(3): 36-39.
- [27] SOYER A. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat[J]. Food Chemistry, 2010, 120: 1025-1030.
- [28] 孙金辉, 李瑞成, 李兴艳, 等. 冻藏条件对土鸡肉品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 307-311.
- [29] PIKUL J. Effects of frozen storage and cooking on lipid oxidation in chicken meat[J]. Food Science, 1984, 49: 838-843.
- [30] 牛力, 陈景宜, 黄明, 等. 不同冻藏温度和时间对鸡胸肉食用品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(4): 115-120.
- [31] TOMAS M C, ANON M C. Study on the influence of freezing rate on lipid oxidation in fish (salmon) and chicken breast muscles[J]. Food Science & Technology, 1990, 25(6): 718-721.
- [32] ABDEL-KADER Z M. Lipid oxidation in chicken as affected by cooking and frozen storage[J]. Nahrung, 1996, 40: 21-24.
- [33] IGENE J O, PEARSON A M. Effect of frozen storage time, cooking and holding temperature upon extractable lipids and TBA values of beef and chicken[J]. Animal Science, 1979, 49: 701-707.
- [34] NGAPO T M, BABARE I H, REYNOLDS J, et al. Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork[J]. Meat Science, 1999, 53: 149-158.
- [35] BAILEY C, JAMES S J, KITCHELL A G. Air-, water- and vacuum-thawing of frozen pork legs[J]. Food Agriculture, 1974, 25: 81-97.
- [36] JAKOBSSON B, BENGTTSSON N. Freezing of raw beef: influence of aging, freezing rate and cooking method on quality and yield[J]. Food Science, 1973, 38: 560-565.
- [37] FAROUK M M, WIELICZKO K J, MERTS I, et al. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef[J]. Meat Science, 2003(66): 171-179.
- [38] CARROLL R J, CAVANAUGH J R, RORER F P, et al. Effects of frozen storage on the ultrastructure of bovine muscle[J]. Journal of food science, 1981, 46: 1091-1094.
- [39] HUNG Y C, KIM N K. Fundamental aspects of freeze-cracking[J]. Food technology, 1996, 60: 59-61.
- [40] ERICKSON M C, HUNG Y C. Quality in frozen food[M]. New York: Chapman Hall, 1997: 92-111.