

# 低温静水解冻对鸡胸肉品质特性的影响

Effect of low temperature hydrostatic thawing on the quality of chicken breast

张根生 张红蕾 岳晓霞 王芮 池天奇

ZHANG Gen-sheng ZHANG Hong-lei YUE Xiao-xia WANG Rui CHI Tian-qi

(哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150076)

(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150076, China)

**摘要:**以经包装和未包装的冷冻鸡胸肉为研究对象,通过测定其全质构特性、剪切力值、肉色、蒸煮损失、全蛋白质含量、pH、TVB-N 值、TBARS 值及菌落总数,研究不同静水解冻温度对冷冻鸡胸肉品质特性的影响。研究表明,低温静水解冻后包装冷冻鸡胸肉的品质特性优于未包装的;与其他解冻温度相比,12℃下解冻鸡胸肉的剪切力值更接近新鲜鸡胸肉,且菌落总数、脂肪和蛋白质的氧化和降解程度均较低;16℃下解冻鸡胸肉的颜色和全质构特性较好,且总蛋白质含量损失和蒸煮损失较低,鸡胸肉的保水性较好。因此,12~16℃包装静水解冻能更好地保持鸡胸肉的品质。

**关键词:**鸡胸肉;低温;静水解冻;品质特性

**Abstract:** The effects of different hydrostatic thawing temperatures on the quality characteristics of the packed and unpacked frozen chicken breasts by measuring the total texture, shear stress, flesh color, cooking loss, total protein content, pH, TVB-N, and TBARS values. The results showed that the quality of the packed frozen chicken breast after hydrostatic thawing at low temperature was better than the unpacked one. Compared to thawing at other temperature, the shear strength of chicken breast thawing at 12℃ was closer to the shear strength of fresh chicken breast, and the total numbers of colony as well as the degree of oxidation and degradation of fat and protein in it was lower. The color and total texture of the chicken breast thawed under 16℃ were better, and the loss of total protein content and the loss of cooking were lower, with the better water retention. Therefore, we suggested that hydrostatic thawing of packed chicken breast at 12~16℃ could maintain the quality better.

**Keywords:** chicken breast; low temperature; hydrostatic thawing; quality characteristics

由于季节性和地域性等因素,鸡肉往往需通过冻藏方式来达到控制微生物对它分解,进而防止腐败变质<sup>[1]</sup>。冷冻鸡

肉在进行深加工之前必须进行解冻,但在解冻过程中其感官特性、理化特性、保水性及微生物指标都会受到很大影响。不合理的解冻处理会使鸡肉出现汁液流失、变色、风味损失、脂质氧化等降低食品质量的问题。目前大多数工业化生产中的冷冻肉解冻参数仍处于凭经验控制阶段,人为主观误差过大,导致肉类加工品质变劣,造成较大的经济损失。

截至目前,国内外研究人员关于解冻处理的研究主要有静水解冻<sup>[2]</sup>、空气解冻<sup>[3]</sup>、微波解冻<sup>[4]</sup>、超声波解冻<sup>[5]</sup>等,研究对象主要集中在水产品(如中国对虾<sup>[6]</sup>、金枪鱼<sup>[7]</sup>等)、畜肉(如猪肉<sup>[8]</sup>、牛肉<sup>[9]</sup>、羊肉<sup>[10]</sup>等),对鸡肉等禽肉品质影响的研究相对较少。朱望民<sup>[11]</sup>研究得到冷水解冻后鸡肉各色差值变化幅度小,而热水解冻后各色差值变化幅度大的结论。赵鹏等<sup>[1]</sup>研究了解冻方法对鸡肉保水性的影响,结果显示静水解冻更适合鸡肉解冻且 15℃时鸡肉的保水性更好。刘著等<sup>[12]</sup>采用不同解冻速率解冻鸡胸肉时发现解冻损失与解冻速率之间呈非线性关系。

解冻处理是鸡肉加工产业化重要环节之一,选择合适的解冻条件对其加工品质至关重要,因此应对解冻条件对鸡肉解冻后的感官特性、理化特性及保水性的影响进行详细的研究。为了更好地保持肉的加工品质,一般要求解冻介质温度不超过 20℃<sup>[13]</sup>。有研究<sup>[2]</sup>表明,静水解冻能够更好地保持肉的保水性。

本研究拟以包装和未包装的冷冻鸡胸肉为研究对象,通过测定其全质构特性、剪切力值、肉色、蒸煮损失、全蛋白质含量、pH、TVB-N 值、TBARS 值及菌落总数,研究不同静水解冻温度对冷冻鸡胸肉品质特性的影响,进而为冷冻鸡肉加工鸡肉糜的产业化生产选择最适宜的静水解冻条件,以便为企业实际生产提供理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

新鲜屠宰的鸡胸肉;哈尔滨正大食品有限公司;

基金项目:黑龙江省重大项目(编号:GA15B302)

作者简介:张根生(1964—),男,哈尔滨商业大学教授,硕士。

E-mail:zhanggsh@163.com

收稿日期:2017-06-04

包装材料:尼龙/聚乙烯(PA/PE),厚度 0.18 mm,苏州联纵包装材料有限公司;

硫酸、硼酸、氧化镁:分析纯,天津市巴斯夫化工有限公司;

蛋白胨、酵母膏、牛肉膏、琼脂:杭州微生物试剂有限公司;

葡萄糖:分析纯,天津市新精细化工开发中心;

氢氧化钠、三氯乙酸:分析纯,天津市天力化学试剂有限公司。

### 1.1.2 主要仪器设备

物性测试仪:TA-XT2i型,英国 SMS 公司;

色差分析仪:CS-800型,杭州彩谱科技有限公司;

恒温培养箱:DHP-9052型,苏州江东精密科学仪器有限公司;

酸度计:PHs-25型,杭州诺普泰克仪器仪表有限公司;

可见分光光度计:721E型,上海光谱仪器有限公司;

立式压力蒸汽灭菌锅:LDZX-50型,上海申安医疗器械厂;

凯氏定氮仪:KDY-9820型,苏州江东精密科学仪器有限公司。

## 1.2 方法

1.2.1 样品处理 选取新鲜屠宰后表面无充血的鸡胸肉(200±20)g,去除表面脂肪,每3个鸡胸分为一组,固定形状后放入自封袋中密封,置于-18℃冷冻48h,待用。

1.2.2 解冻处理 采用静水解冻。取出肉样,分别采用包装解冻和未包装直接解冻2种方式,置于干净的1000 mL的烧杯中[料水比1:6(g/mL)],用冰块控制解冻用水温度为:(0±1),(4±1),(8±1),(12±1),(16±1),(20±1)℃,将温度探头分别插入冷冻鸡胸肉样的几何中心,以温度计探头达到0℃设为鸡胸肉的解冻终点。

### 1.3 指标的测定

1.3.1 解冻时间 将温度计探头分别插入鸡肉的几何中心处,解冻开始时记录解冻的时间( $t_1$ ),当鸡肉中心温度达到0℃时记录解冻终点时间( $t_2$ ),解冻时间( $h$ )即是  $t_2$  和  $t_1$  的差值。

1.3.2 全质构特性测定 根据文献[14]修改如下:采用 TA-XT2i 型质构仪对肉样进行测定,平行3次,主要测定5种质构特性参数即硬度、弹性、咀嚼性、内聚性和黏着性。以不同温度空气解冻和静水解冻后的鸡肉作为研究对象,规格4.0 cm×4.0 cm×1.5 cm。探头型号 P35,测前速率:8.0 mm/s;测试速率:8.0 mm/s;测后速率:8.0 mm/s;压缩变形率:40%;探头两次测定间隔时间:5.0 s;触发类型:自动。

1.3.3 剪切力的测定 按 NY/T 2793—2015《肉的食用品质客观评价方法》执行。

1.3.4 色泽的测定 采用 CS-800 型色差分析仪直接测定样品的  $L^*$  (亮度)、 $a^*$  (正值表示颜色接近红色,负值表示颜色

接近绿色)、 $b^*$  (正值表示颜色接近于黄色,负值表示颜色接近于蓝色)[15]。测试前将解冻完全的待测肉在空气中曝光15 min,待测肉放置在光源上方,平行测量3次,取平均值。

1.3.5 蒸煮损失的测定 将解冻完全的鸡肉切成4 cm×4 cm×1 cm的肉块,称取质量  $W_1$  装入蒸煮袋中,在85℃水浴锅中蒸煮20 min,蒸煮结束后冷却至室温,擦干表面水分,称取质量  $W_2$ ,按式(1)计算蒸煮损失率。

$$X_1 = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$X_1$ ——鸡肉的蒸煮损失率,%;

$W_1$ ——鸡肉蒸煮前的质量,g;

$W_2$ ——鸡肉蒸煮后的质量,g。

1.3.6 肌肉全蛋白质含量的测定 将4.0 g肉样绞碎,加入10 mL提取液(2 g/100 mL SDS,10 mmol/L  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 - \text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,pH 7.0),匀浆30 s,1500 g离心15 min[16],除去少量不溶成分,采用双缩脲法测定离心后上清液中的蛋白质含量。

1.3.7 pH的测定 按 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》执行。

1.3.8 挥发性盐基氮的测定 按 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》执行。

1.3.9 硫代巴比妥酸值的测定 按 GB/T 5009.181—2016《猪油中丙二醛的测定》执行,结果用 mg/100 g 表示。

1.3.10 菌落总数的测定 按 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》执行。

## 1.4 数据处理

每个检测指标重复测定3次,采用 Spss 17.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 解冻温度对鸡胸肉解冻时间的影响

由图1可知,在低温静水解冻中随着解冻温度的升高,不同包装方式的冷冻鸡胸肉到达解冻终点的时间呈下降趋势,即解冻速率逐渐增大,当解冻温度超过12℃时趋于平稳。解冻温度相同时,未包装静水解冻冷冻鸡胸肉的解冻时

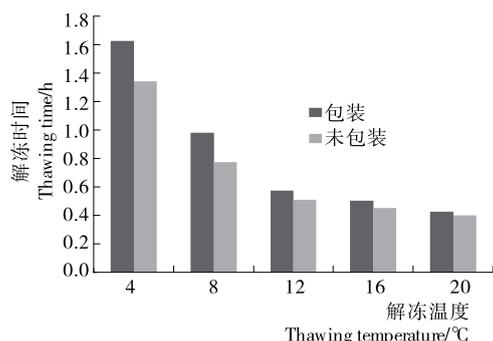


图1 解冻温度对冷冻鸡胸肉解冻时间的影响

Figure 1 Effect of thawing temperature on thawing time of frozen chicken

间短于包装静水解冻的,可能是未包装静水解冻过程中,解冻用水与肉样接触导致水进入鸡肉肌纤维间隙中,加速了样品肉中冰晶的融化,缩短了解冻时间。与赵鹏等<sup>[1]</sup>研究得到随着解冻温度升高解冻时间逐渐缩短的结果相符。

## 2.2 解冻温度对 TPA 的影响

由表 1 可知,与新鲜鸡胸肉相比,随着解冻温度的升高,鸡胸肉的全质构特性变化显著,其中硬度、弹性及黏着性在 12~20 °C 时的变化具有显著性( $P < 0.05$ )。4 °C 包装静水解

冻冰晶融化慢,对细胞结构的破坏小,弹性更好。Badii F 等<sup>[17]</sup>指出弹性下降可能是解冻过程中冰晶融化,破坏了细胞结构。咀嚼性在 16~20 °C 时的变化不具有显著性( $P > 0.05$ )。相同解冻温度时,包装解冻后鸡胸肉的全质构特性更好,可能是全质构特性与持水力呈正相关关系。欧阳杰等<sup>[18]</sup>指出持水力越好,肌肉汁液和蛋白损失越少,而盐溶性蛋白是形成凝胶的重要物质。16 °C 包装解冻后鸡胸肉的全质构指标更接近新鲜鸡肉的。

表 1 解冻温度对 TPA 的影响

Table 1 Effect of defrosting temperature on TPA

解冻温度/°C	包装与否	硬度/g	弹性/mm	黏着性/g	咀嚼性/mJ	内聚性
鲜肉		1 285.0±43.71	4.43±0.03	696.5±7.84	33.71±0.58	0.710±0.05
4	包装	1 119.0±26.83	4.10±0.06	669.0±8.57	30.13±0.46	0.570±0.17
	未包装	1 104.6±29.89	4.02±0.07	659.0±5.69	28.95±0.63	0.520±0.06
8	包装	1 128.4±37.31	4.18±0.05	675.0±9.16	31.21±0.45	0.600±0.08
	未包装	1 117.5±33.67	4.15±0.10	669.0±10.11	30.56±0.83	0.580±0.03
12	包装	1 133.5±42.21	4.21±0.06	680.0±7.54	31.71±0.53	0.640±0.10
	未包装	1 120.1±31.63	4.18±0.07	677.5±11.09	31.17±0.36	0.625±0.05
16	包装	1 148.5±29.79	4.24±0.11	684.5±8.45	32.55±0.77	0.670±0.11
	未包装	1 126.4±36.46	4.20±0.05	679.7±6.93	31.61±0.35	0.630±0.09
20	包装	1 141.2±28.88	4.21±0.07	682.6±5.43	32.50±0.41	0.660±0.04
	未包装	1 139.6±50.31	4.18±0.10	680.0±9.04	31.01±0.49	0.645±0.12

## 2.3 解冻温度对鸡肉剪切力的影响

剪切力是评价肉嫩度大小的指标。由图 2 可知,低温静水解冻后鸡胸肉的剪切力值呈现显著变化( $P < 0.05$ ),随着解冻温度的升高,鸡胸肉的剪切力呈先减小后增大的趋势,当解冻温度相同时,未包装静水解冻后鸡胸肉的剪切力更大,12 °C 包装静水解冻下,鸡胸肉的剪切力值更接近新鲜鸡肉的。Alinadeh E 等<sup>[19]</sup>指出,肉剪切力值的大小与其嫩度呈反比,鸡肉冻藏一定时间后,冰结晶逐渐增长,在解冻时肉样中水分融出,使肌肉纤维收缩,剪切力增大,与本试验结果相符。Coleen L 等<sup>[20]</sup>指出肌肉剪切力增加可能是鸡腿排肉样的失水和肌纤维的收缩变硬引起的。

## 2.4 解冻温度对鸡肉色泽的影响

色泽是鸡肉感官品质的重要指标,与消费者的可接受程

度直接相关。由表 2 可知,与新鲜鸡胸肉相比, $L^*$  值、 $a^*$  呈下降趋势, $b^*$  呈上升趋势。16、20 °C 解冻的肉色值最接近新鲜鸡肉的,而 20 °C 包装解冻后肉的  $L^*$  值与  $b^*$  值更大一些, $a^*$  值比较小,肉色更具有光泽,大众的可接受程度较高,可能是冷冻鸡胸肉经解冻后水分流失而使其失去光泽,而 16 °C 解冻损失较少,样品肉的透明度较好,而包装解冻减少样品肉与空气的接触,可以减少肌红蛋白的氧化程度,与

表 2 解冻温度对鸡胸肉色泽的影响

Table 2 Effect of thawing temperature on chicken breast color

解冻温度/°C	包装与否	$L^*$	$a^*$	$b^*$
鲜肉		50.16±1.05	3.63±0.13	8.48±0.70
4	包装	47.83±0.97	2.94±0.09	10.33±0.56
	未包装	47.66±1.09	2.72±0.11	10.57±0.61
8	包装	47.75±1.21	2.97±0.05	10.53±0.66
	未包装	47.46±1.42	2.84±0.07	10.07±0.47
12	包装	47.59±0.79	3.04±0.09	9.50±0.71
	未包装	47.32±1.00	3.16±0.09	9.10±0.69
16	包装	48.62±0.98	3.31±0.05	8.82±0.59
	未包装	48.35±0.79	3.42±0.17	9.02±0.49
20	包装	48.87±0.74	2.98±0.13	10.33±0.91
	未包装	48.64±0.61	2.75±0.15	10.52±0.83

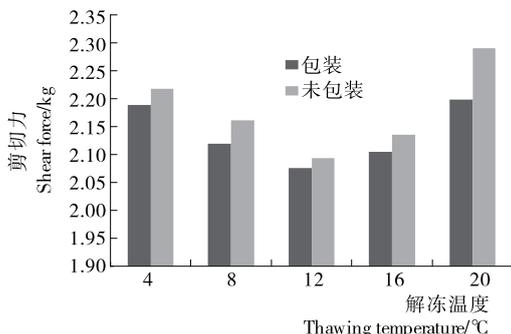


图 2 解冻温度对剪切力的影响

Figure 2 Effect of thawing temperature on shear force

Chandhylasekaran V 等<sup>[21]</sup>的研究结果相符。Hamre K 等<sup>[22]</sup>指出  $b^*$  值的增加可能是鸡胸肉解冻过程中脂肪氧化引发非酶褐变反应生成了黄色素所致的。大量研究表明解冻后肉颜色的变化与脂肪氧化程度<sup>[23]</sup>、蛋白变性<sup>[24]</sup>及色素降解<sup>[25]</sup>相关,从而导致冷冻肉解冻后色泽变差。

### 2.5 解冻温度对蒸煮损失的影响

由图 3 可知,在低温静水解冻过程中,随着解冻温度的升高,鸡肉的蒸煮损失呈缓慢下降趋势,当解冻温度达到 16 °C 后略有升高,主要是由于冷冻鸡肉中的冰晶增长破坏了细胞膜和肌肉组织,与孙企达<sup>[26]</sup>研究得出的肉类在冻结和冻藏过程中,肉中的冰晶增长破坏了细胞膜和肌肉组织,且为不可逆性破坏的结果相符。同时,鸡胸肉慢速解冻时细胞内发生重结晶相比快速解冻程度更大,致使鸡肉细胞结构和蛋白质的空间结构破坏程度更大,解冻完全后部分融化的水没有足够的时间进入细胞被蛋白质重新吸附,导致样品蒸煮损失增加。Coleen L 等<sup>[20]</sup>指出汁液损失有一部分来自于脂肪融化和蛋白质变性导致的不易流动水损失。解冻后鸡肉的可溶性蛋白损失也会影响鸡肉的蒸煮损失,当解冻温度相同时,经包装的鸡胸肉可溶性蛋白损失更小,其蒸煮损失也相对较小。冷冻鸡肉解冻后营养成分含量会随之下降,且解冻后的肉经过再加工制成鸡肉糜也会造成蒸煮损失的增加。

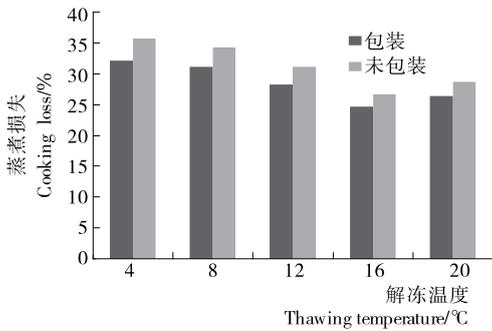


图 3 解冻温度对蒸煮损失的影响

Figure 3 Effect of thawing temperature on cooking loss

### 2.6 解冻温度对全蛋白质含量的影响

全蛋白质含量的变化能够反映鸡胸肉解冻后蛋白质的损失情况。由图 4 可知,在低温静水解冻过程中,随着解冻温度的升高,鸡肉的全蛋白质含量呈缓慢下降趋势,即鸡肉解冻后蛋白质损失逐渐增加,当解冻温度达到 20 °C 时,肉中全蛋白质含量下降显著 ( $P < 0.05$ )。从本试验所涉及的温度范围来看解冻速率越大蛋白的溶解性越小,最高解冻速率条件下的蛋白溶解度最小,且当解冻温度相同时,未包装鸡肉的全蛋白质含量相对较少,可能是随着解冻速率不断的增大,导致肉中冰晶融化过快,融出的水分不能及时进入细胞被蛋白质重新吸附,导致蛋白质变性程度增大,溶解度降低,肌肉全蛋白质含量降低,与余小领等<sup>[27]</sup>的研究结果相似。施雪等<sup>[28]</sup>指出肌肉蛋白质的溶解性也会因其在冻藏过程中蛋白质变性而下降,主要表现在蛋白质的可提取性降低。故先包装再低温静水解冻的鸡肉蛋白损失更小,更适用于冷冻

鸡肉的解冻处理。

### 2.7 解冻温度对鸡肉 pH 的影响

pH 值是反映肉类品质变化的重要指标,其影响着肉的风味。由图 5 可知,经过不同温度静水解冻后,鸡肉的 pH 值(5.8~6.1)没有出现显著变化。当解冻温度超过 12 °C,未包装的冷冻鸡胸肉 pH 值呈上升趋势,可能是解冻温度的增高,导致鸡胸肉表面的微生物繁殖速度增快,同时这些微生物通过分解蛋白质产生氨、胺类以及其他物质,促使鸡胸肉的 pH 值上升。周光宏<sup>[29]</sup>指出肌肉的系水力在其 pH 值接近蛋白质等电点(pH 5.0~5.4)时处于较低状态,pH 在 6.0 左右时肌肉的系水力最好,禽畜肉汁液鲜美最强。12 °C 包装静水解冻和 16 °C 未包装静水解冻后 pH 值更接近 6.0,此条件下解冻对肌肉系水力的保持更好。

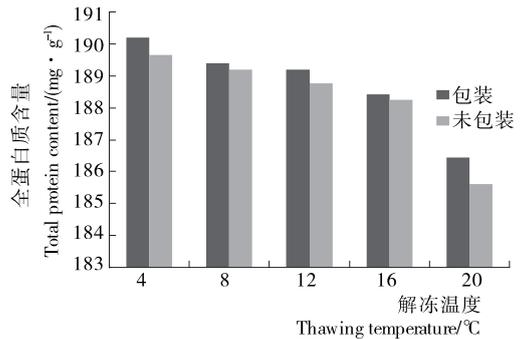


图 4 解冻温度对全蛋白质的影响

Figure 4 Effect of thawing temperature on total protein

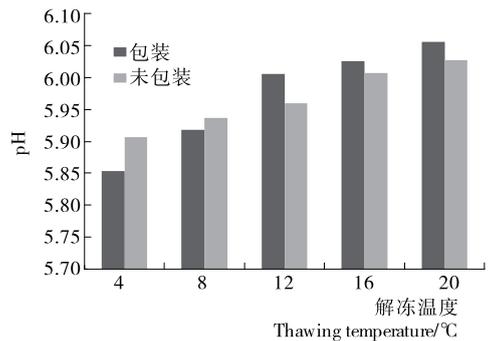


图 5 解冻温度对 pH 的影响

Figure 5 Effect of defrosting temperature on pH

### 2.8 解冻温度对鸡肉挥发性盐基氮的影响

TVB-N 含量高低能判定冻、鲜肉的新鲜程度,可作为是否符合食品卫生的客观指标。由图 6 可知,随着解冻水温的升高,挥发性盐基氮含量呈缓慢下降后又上升的趋势,在 12 °C 包装静水解冻时其含量达到最低,可能是此温度下解冻时间最短且肉与水中的微生物接触相对直接水浸解冻要少一些。施雪等<sup>[28]</sup>指出这是由于解冻温度和解冻时间共同影响着内源酶和微生物的作用,与本研究结果相符。而在解冻温度为 4, 20 °C 时,2 种包装方式解冻后 TVB-N 含量均相对较高。虽然 4 °C 的低温环境抑制了内源酶和微生物的作用,但解冻时间过长增加了肉与水中微生物的接触时间,增大了内源酶与微生物的反应面积。虽然 20 °C 解冻鸡胸肉所

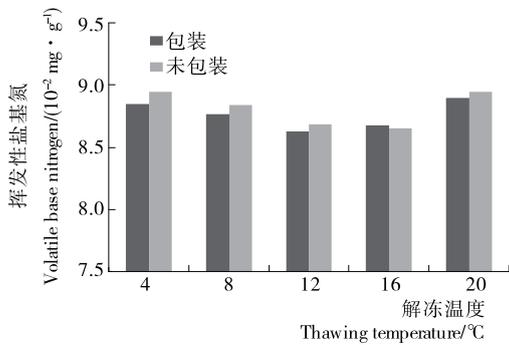


图 6 解冻温度对挥发性盐基氮的影响

Figure 6 Effect of thawing temperature on volatile nitrogen

需时间短,但较高温度加快了内源酶与微生物的反应速度。

### 2.9 解冻温度对鸡肉硫代巴比妥酸值的影响

硫代巴比妥酸值是判断脂肪氧化的重要指标,该值越大说明氧化程度越大,其酸败的临界点是 1 mg/100 g。由图 7 可知,在 4~12 °C 下解冻时硫代巴比妥酸值呈下降趋势,超过 12 °C 时开始呈上升趋势,硫代巴比妥酸值受解冻时间和解冻温度的影响,主要受解冻时间的影响,在解冻的过程和解冻后均发生了脂肪氧化反应,姜晴晴等<sup>[30]</sup>指出肉在解冻过程中结晶水融化,鸡胸肉中的脂类物质失去了自生液态水膜的保护,外界水进入肉中,致使外界物质与脂类物质反应,脂肪被氧化。12 °C 下包装静水解冻的硫代巴比妥酸值最小,是由于解冻时间较短,且经包装的较未包装的微生物数量要少。

### 2.10 解冻温度对鸡肉菌落总数的影响

菌落总数是从微生物繁殖方面来描述鸡肉的新鲜程度的重要指标。鸡肉含有丰富的蛋白质和其他营养物质,为微生物的繁殖提供了优良的环境。研究<sup>[31]</sup>表明,鸡肉的新鲜程度与其微生物的含量呈反比关系。因此,菌落总数可以直接反应静水解冻后鸡胸肉的品质变化情况。由图 8 可知,随着解冻温度的增加,鸡肉的菌落总数大体呈上升的趋势,12 °C 包装静水解冻的鸡肉菌落总数最小;20 °C 静水解冻的鸡肉菌落总数最高,是因为其不仅受时间影响,还受温度影响,温度的增高加快了微生物的活性,促进了微生物的生长。

## 3 结论

本试验研究了不同静水解冻温度对包装和未包装的冷

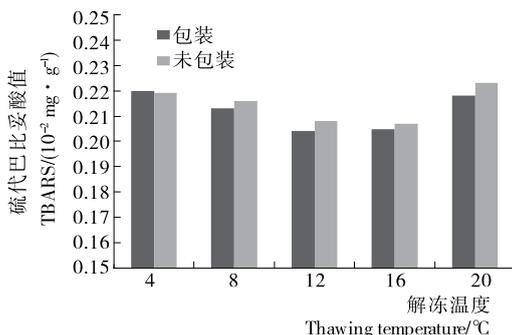


图 7 解冻温度对硫代巴比妥酸值的影响

Figure 7 Effect of thawing temperature on thiobarbituric acid

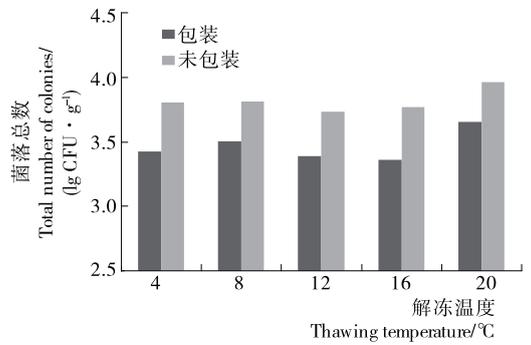


图 8 解冻温度对菌落总数的影响

Figure 8 Effect of thawing temperature on the total number of colonies

冻鸡胸肉品质特性的影响。包装低温静水解冻能更好地保持鸡肉的品质;在 12 °C 下静水解冻鸡胸肉时,其理化特性保持较好,在 16 °C 下静水解冻鸡胸肉时,其感官特性和保水性保持较好。因此,12~16 °C 包装静水解冻能够更好地保持鸡胸肉的品质。

## 参考文献

- [1] 赵鹏,柳艳霞,田玮,等.不同解冻方法对鸡肉保水性的影响[J].食品工业科技,2014,35(23):110-114.
- [2] 常海军,唐翠,唐春红.不同解冻方式对猪肉品质特性的影响[J].食品科学,2014,35(10):1-5.
- [3] 余力,贺雅非,ENKHAMAA Batjargal,等.不同解冻方式对伊拉兔肉品质特性的影响[J].食品科学,2015,36(14):258-264.
- [4] 迟海,李学英,杨宪时,等.解冻方式和条件对南极磷虾品质的影响[J].食品与机械,2011,27(1):94-97.
- [5] 张昕,宋蕾,高天,等.超声波解冻对鸡胸肉品质的影响[J/OL].食品科学.(2017-03-03)[2017-05-13].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20170303.1443.106.html>.
- [6] 侯晓荣,米红波,茅林春,等.解冻方式对中国对虾物理性质和化学性质的影响[J].食品科学,2014,35(4):243-247.
- [7] 尚艳丽,杨金生,夏松养.不同解冻方式对金枪鱼色泽的影响研究[J].食品科技,2012,37(1):72-75.
- [8] 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.
- [9] 李银,孙红梅,张春晖,等.牛肉解冻过程中蛋白质氧化效应分析[J].中国农业科学,2013,46(7):1426-1433.
- [10] CHANDHYLASEKARAN V, THULAS G. Effect of different thawing methods on physicochemical characteristics of frozen buffalo meat[J]. Journal of Food Technology, 2010, 8(6): 239-242.
- [11] 朱望民.冷冻储藏和反复解冻对鸡肉品质的影响研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2012:60-64.
- [12] 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.
- [13] 尤敏瑜.冻结食品的解冻技术[J].食品科学,2001,22(8):87-90.
- [14] 廖彩虎.冻结、解冻和冻藏对温氏鸡品质的影响的研究[D].广

- 州: 华南理工大学, 2010: 14-15.
- [15] 夏列, 蒋爱民, 卢艳, 等. 冷却与速冻对猪肉贮藏期品质影响的对比研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(6): 174-180.
- [16] JOO S T, KAUFFMAN R G, KIM B C, et al. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to color and water-holding capacity in porcine longissimus muscle[J]. Meat Science, 1999, 52(3): 291-297.
- [17] BADII F, HOWELL N K. changes in the texture and structure of cod and haddock fillets during frozen storage [J]. Food Hydrocolloids, 2002, 16: 313-319.
- [18] 欧阳杰, 倪锦, 吴锦婷, 等. 解冻方式对大黄鱼解冻效率和品质的影响[J]. 肉类研究, 2016, 30(8): 30-34.
- [19] ALIZADEH E, CHAPLEAU N, DE LAMBALLERIE M, et al. Effect of different freezing processes on the microstructure of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8(4): 493-499.
- [20] COLEEN L, TREVOR J B, LOUWRENS C H. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review[J]. Meat Science, 2012, 91(2): 93-98.
- [21] CHANDHYLASEKARAN V, THULAS G. Effect of different thawing methods on physicochemical characteristics of frozen buffalo meat[J]. Journal of Food Technology, 2010, 8(6): 239-242.
- [22] HAMRE K, LIE Ø, SANDANES K. Development of lipid oxidation and flesh colour in frozen stored fillets of Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus* L.): Effects of treatment with ascorbic acid[J]. Food Chemistry, 2003, 82(3): 447-453.
- [23] THANONKAEW A, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. The effect of metal ions on lipid oxidation, color and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles [J]. Food Chemistry, 2006, 95(4): 591-599.
- [24] TIRONI V, LAMBALLERIE M D, LE-BAIL A. Quality changes during the frozen storage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) muscle after pressure shift freezing and pressure assisted thawing[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(4): 565-573.
- [25] BALLIN N Z, LAMETSCH R. Analytical methods for authentication of fresh vs. thawed meat: a review[J]. Meat Science, 2008, 80(2): 151-158.
- [26] 孙企达. 肉的冻结与冻藏[J]. 农产品加工, 2010(3): 22-23.
- [27] 余小领, 李学斌, 闫利率, 等. 不同冻结和解冻速率对猪肉保水性 and 超微结构的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 261-265.
- [28] 施雪, 夏继华, 卢进峰, 等. 冻结、解冻过程对肌肉品质的影响[J]. 食品工业, 2012, 33(7): 21-24.
- [29] 周光宏. 畜产品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 69.
- [30] 姜晴晴, 刘文娟, 卢璐, 等. 冻结与解冻处理对肉类品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 384-388.
- [31] 章薇, 吴娟, 熊国远. 鸡肉加工过程中微生物控制的探讨[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(5): 93-94.

(上接第 166 页)

- [4] ZHANG Wen-juan, GUO Shan-shan, YOU Chun-xue, et al. Chemical composition of essential oils from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. and their bioactivities against *Lasioderma serricorne*[J]. Journal of Oleo Science, 2016, 65(10): 871-879.
- [5] YANG Qian, CAO Wei-dong, ZHOU Xuan-xuan, et al. Anti-thrombotic effects of alpha-linolenic acid isolated from *Zanthoxylum bungeanum* Maxim seeds[J]. British Medical Council Complementary and Alternative Medicine, 2014, 14: 1-8.
- [6] 付陈梅, 阚建全, 陈宗道, 等. 花椒的成分研究及其应用[J]. 中国食品添加剂, 2003(4): 83-85, 122.
- [7] 赵秀玲. 花椒的化学成分、药理作用及其资源开发的研究进展[J]. 中国调味品, 2012, 37(3): 1-5.
- [8] 李国强. 花椒油树脂提取工艺研究[J]. 中国果菜, 2015, 35(6): 30-33.
- [9] 邵杰, 宋瑞雯, 王改玲, 等. 响应面法优化花椒油树脂的超声提取工艺[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 329-331.
- [10] 陶志杰, 王睿, 王改玲, 等. 酶解法辅助提取花椒油树脂的工艺优化[J]. 绥化学院学报, 2014, 34(9): 150-153.
- [11] 张中英, 张明春. 应用纤维素酶提取中草药有效成分的研究进展[J]. 上海中医药杂志, 2007, 41(1): 79-81.
- [12] SONG Hui-ting, GAO Yuan, YANG Yi-ming, et al. Synergistic effect of cellulase and xylanase during hydrolysis of natural lignocellulosic substrates[J]. Bioresource Technology, 2016, 219: 710-715.
- [13] KUHAD R C, DESWAL D, SHARMA S, et al. Revisiting cellulase production and redefining current strategies based on major challenges[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 55: 249-272.
- [14] BAS D, BOYACI I H. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3): 836-845.
- [15] 陈龙飞, 王敏, 范柳萍, 等. 响应面法优化玛咖全粉直接压片法研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 169-174.
- [16] BUDIHAL S R, AGSAR D, PATIL S R. Enhanced production and application of acidothermophilic *Streptomyces cellulase*[J]. Bioresource Technology, 2016, 200: 706-712.
- [17] 吴秋, 王成忠, 刘家惠. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取毛榛籽油及 GC-MS 分析[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(1): 135-140.
- [18] 王琛, 石太渊. 双酶解法提取姜油树脂工艺优化[J]. 食品科学, 2011, 32(12): 60-63.
- [19] 张雪春, 田智宇, 王振兴, 等. 核桃青皮多糖微波辅助提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 146-151.
- [20] 张盼盼, 王丽, 时志军, 等. 蓝莓果渣花青素的超声辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 152-157, 210.