

# 苜蓿冰结构蛋白对速冻饺子皮质地的影响

曲敏<sup>1</sup>, 耿浩源<sup>1</sup>, 孙玥<sup>1</sup>, 田野<sup>1</sup>, 杨丽媛<sup>1,2</sup>, 陈凤莲<sup>1</sup>

(1.哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150076; 2.哈尔滨劳动技师学院, 黑龙江 哈尔滨 150025)

**摘要:**以“肇东”紫花苜蓿干草为原料, 采用冰结合磷酸盐缓冲溶液法提取苜蓿冰结构蛋白(alfalfa ice structuring proteins, AISPs), 确定其分子质量和热滞活性。将AISPs添加到小麦饺子粉中制成饺子皮, 并加工成水饺。观察速冻饺子经过不同周期冻融循环的饺子皮冻裂情况, 测定饺子皮的持水性及生、熟饺子皮的质构特性。考察AISPs对冻融湿面筋蛋白表征结构的影响。结果显示: AISPs的分子质量约为52 kDa, 热滞活性为0.54 °C。随着冻融周期的增加, 添加不同比例AISPs饺子皮的持水性显著提高, 其生、熟饺子皮的质构特性产生了影响, 可有效保护饺子皮质地的均一性及稳定性; 添加AISPs的速冻饺子皮无明显开裂。速冻饺子皮的扫描电镜结构表征显示, 添加AISPs能有效改善面筋蛋白的网络结构和淀粉颗粒, 表明AISPs对速冻饺子皮的质地有良好改善, 具有很好的抗冻保护作用。

**关键词:**冰结构蛋白; 饺子皮; 持水性; 质构特性; 冻融周期

## Effect of Ice Structuring Proteins from Alfalfa on Texture of Quick Frozen Dumpling Wrapper

QU Min<sup>1</sup>, GENG Haoyuan<sup>1</sup>, SUN Yue<sup>1</sup>, TIAN Ye<sup>1</sup>, YANG Liyuan<sup>1,2</sup>, CHEN Fenglian<sup>1</sup>

(1. College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China;

2. Harbin Labor Technician College, Harbin 150025, China)

**Abstract:** Ice structuring proteins (AISPs) were extracted from “Zhaodong” alfalfa hay into phosphate-buffered solution (PBS) followed by addition of ice spheres to bind AISPs, and their anti-freeze activity and molecular mass were determined. Then AISPs were added into wheat flour before making dumpling wrappers and quick frozen dumplings. After several freeze-thaw cycles, the water-holding capacity of raw dumpling wrappers and the texture properties of raw and cooked dumpling wrappers were determined. The results showed that the relative molecular mass of AISPs was about 52 kDa and the thermal hysteresis activity was 0.54 °C. The water-holding capacity of dumpling wrappers with added AISPs increased significantly with increasing number of freeze-thaw cycles. Both raw and cooked dumpling wrappers were kept homogeneous and stable and their textural properties were significantly improved with the addition of AISPs. Quick frozen dumpling wrappers with added AISPs showed no significant cracking. The scanning electron microscopic (SEM) characterization of quickly-frozen dumpling wrappers displayed that the surface structure of gluten network and starch granules were improved with the addition of AISPs, suggesting that AISPs can act as a cryoprotectant to improve the texture properties of quick frozen dumpling wrappers.

**Keywords:** ice structuring protein; dumpling wrapper; water-holding capacity; texture characteristics; freeze-thaw cycle

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201820013

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 20-0086-06

引文格式:

曲敏, 耿浩源, 孙玥, 等. 苜蓿冰结构蛋白对速冻饺子皮质地的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 86-91. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201820013. <http://www.spkx.net.cn>

QU Min, GENG Haoyuan, SUN Yue, et al. Effect of ice structuring proteins from alfalfa on texture of quick frozen dumpling wrapper[J]. Food Science, 2018, 39(20): 86-91. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201820013. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2017-07-15

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目(C201124); 黑龙江省博士后科研启动基金项目(LBH-Q13098)

第一作者简介: 曲敏(1966—), 女, 教授, 博士, 研究方向为新型植物蛋白与食品添加剂及农产品加工。

E-mail: qumin777@126.com

冰结构蛋白 (ice structuring proteins, ISPs), 又称为抗冻蛋白、不冻蛋白或热滞蛋白, 是由动物、植物、昆虫和微生物等为抵御外界低温而产生的蛋白质<sup>[1-2]</sup>, 具有一定的热滞活性 (thermal hysteresis activity, THA), 非依数性降低冰点, 与冰进行特异性结合等特性, 具有控制冰晶生长、修饰冰晶形态、抑制冰晶重结晶<sup>[3-4]</sup>等作用。现已知的ISPs主要来源于植物、海洋鱼类、昆虫和微生物。植物ISPs的THA不高, 现已知的ISPs主要来源于植物。由于具有抗冻保护作用, ISPs作为一种新型食品添加剂, 近年来在食品行业的应用受到了广泛的关注, 其中以植物ISPs最容易被消费者和食品生产企业所接受。Payne等<sup>[5]</sup>发现将肉浸泡在ISPs溶液中, 可以显著减少由冻藏产生的冰晶数量; 美国DNAP公司发现将ISPs添加到牛奶和冰淇淋中可以有效地消除冰渣, 改善产品的风味和质量<sup>[6]</sup>; 李玲玲等<sup>[7]</sup>研究了冬小麦ISPs对湿面筋蛋白冻藏稳定性的影响。随着冷冻行业的发展和人们生活需求的增加, 速冻水饺在人们日常饮食中占据的地位越来越高<sup>[8]</sup>。虽然速冻水饺的技术和模式在不断进步, 但仍存在着速冻后水饺表皮开裂, 水煮时口感黏烂, 汤汁浑浊, 饺子皮颜色加深等质量问题<sup>[9-10]</sup>。随着冻藏时间的延长和运输过程中温度波动而造成的冻融循环会导致水饺冻裂和结坨等现象, 因而影响速冻水饺的贮存和销售<sup>[11]</sup>。提高速冻水饺质量、改善口感、降低成本已成为各个企业共同关注的焦点。研究发现, 选择合适的添加剂有利于减少速冻水饺的冻裂率、提高其蒸煮质量、改善口感风味<sup>[12]</sup>。

苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 是多年生豆科植物, 也称为金花菜或草头, 江浙等地将其作为菜蔬食用。苜蓿的蛋白质含量高, 鲜品中蛋白质平均质量分数达18%以上。苜蓿产量高, 素有“牧草之王”美称, 且耐寒, 在极端严寒条件下 (-45 °C) 的返青率仍高达90%。本研究通过从苜蓿中提取苜蓿冰结构蛋白 (alfalfa ice structure proteins, AISPs), 确定其分子质量和THA, 将其添加到速冻饺子皮并对饺子进行多次冻融循环实验, 观察饺子皮外观冻裂情况, 检测饺子皮持水性和质构品质的变化, 以及检测AISPs对冷冻湿面筋表征结构的影响。为拓宽AISPs在速冻水饺行业中的应用提供理论支持。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

“肇东”紫花苜蓿 黑龙江省蓬勃牧草有限公司; 磷酸氢二钠、磷酸二氢钠 (均为分析纯) 天津市致远化学试剂有限公司; 饺子粉 河北金沙河面业集团; 猪肉、芹菜、调料 市售。

### 1.2 仪器与设备

XL-08多功能粉碎机 永康市帅通工具有限公司; FDU-1200型冷冻干燥机 日本东京理化公司; Z366高速大容量台式离心机 德国哈默公司; SU8010扫描电镜 (scanning electron microscope, SEM) 日本日立公司; TA-XT2i型质构仪 英国SMS公司; DSC4000差示扫描量热 (differential scanning calorimetry, DSC) 仪 美国PerkinElmer科技有限公司; BS224S型电子分析天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 AISPs的提取

由于ISPs具有与冰进行特异性结合的特点, 根据本课题组改良的冰结合磷酸缓冲溶液法<sup>[13-14]</sup>从苜蓿干草中提取AISPs。将苜蓿干草粉碎, 过80目筛, 以料液比1:20 (g/mL) 与磷酸缓冲溶液 (0.63 mmol/L、pH 7.7) 混合。磁力搅拌2 h后以8 000 r/min离心15 min, 取上清液。上清液中加入直径为10 mm的冰球, 每100 mL上清液加50个冰球, 置于-18 °C冰箱冷冻2.5 min, 使冰球与AISPs发生结合后, 取出冰球, 冰球融化的液体即为AISPs溶液。经浓缩, 冷冻干燥制成AISPs冻干粉备用。

#### 1.3.2 AISPs的THA检测

利用DSC仪测定THA, 参考文献[15-16]的方法并进行改进。取5 μL 20 mg/mL样品注入坩埚底部, 以空坩埚为参比, 以1 °C/min的速率将温度降至-20 °C, 平衡10 min, 使样品结冰固化且使系统稳定, 再以同样的速率升温至10 °C, 从热流-温度/时间曲线上可得到样品熔点 $T_m$ 及熔融焓 $\Delta H_m$  (即吸热峰面积)。以同样的速率再降温至-20 °C, 平衡10 min, 再以1 °C/min左右升温至保留温度 $T_h$ , 平衡10 min, 再降温至-20 °C。记录降温后部分融化状态再次全部冻结产生的重结冰温度 $T_0$ 和结冰焓 $\Delta H_f$ , 改变 $T_h$ , 重复实验, 由DSC曲线得到不同停留温度条件下体系的冰晶含量及样品的THA。THA与冰核含量 ( $\varphi$ ) 按公式 (1)、(2) 计算:

$$THA/^\circ C = T_h - T_0 \quad (1)$$

$$\varphi/\% = \left(1 - \frac{\Delta H_f}{\Delta H_m}\right) \times 100 \quad (2)$$

#### 1.3.3 十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳 (sodium dodecyl sulphate polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE) 测定AISPs分子量

采用SDS-PAGE法<sup>[17]</sup>对AISPs进行电泳实验。分离胶为12%, 浓缩胶为4%, 电泳开始时电压恒定为80 V, 样品完全进入分离胶时将电压调节为120 V。

### 1.3.4 速冻水饺的制备及质地检测

#### 1.3.4.1 速冻饺子的制备及冻融处理

制备猪肉芹菜馅水饺。参考林莹等<sup>[18]</sup>的方法制作饺子皮,参照李雪琴等<sup>[11]</sup>的方法制作猪肉芹菜饺子馅。

将AISPs冻干粉溶于水,与饺子粉充分混合,制成AISPs质量分数分别为0%、0.1%、0.3%、0.5%的饺子皮(以面粉为基准)。用4种不同AISPs添加量的饺子皮包成家常猪肉芹菜馅水饺,将包好的饺子放入-50℃低温冰箱速冻20 min,再移入-18℃冰箱中冻藏。1周后取出于室温(25℃)条件下完全解冻,此为1个冻融周期,将以上速冻饺子样品分别处理0、1、2、3、4、5个冻融周期。

#### 1.3.4.2 速冻饺子皮持水性的测定

取解冻后的饺子去馅,将饺子皮在高速离心机中10 000 r/min离心15 min,倒掉离心出来的液体,根据公式(3)计算饺子皮持水率,用以评估饺子皮的持水性。

$$\text{持水率}/\% = \frac{M_0}{M_1} \times 100 \quad (3)$$

式中:  $M_1$ 为离心前饺子皮质量/g;  $M_0$ 为离心后饺子皮质量/g。

#### 1.3.4.3 速冻饺子皮质构特性的测定

饺子解冻后去馅,取3 cm×3 cm完整饺子皮平整的放在载物台上,调整位置至探头正下方,检测生饺子皮的质构特性。

取500 mL水烧开,将需要测试的饺子放入沸腾的水中,待再次沸腾时开始计时,到最佳时间后立刻捞出,放入凉水中冷却1 min。用滤纸将饺子表面吸干,然后去馅取3 cm×3 cm完整饺子皮平整的放在载物台上,调整位置至探头正下方,检测熟饺子皮的质构特性。

质构特性测试条件<sup>[19-21]</sup>:采用P35柱形探头,在TPA模式下分别设定测前速率1.00 mm/s,测试速率0.80 mm/s,测后速率0.80 mm/s,下压距离4.00 mm,时间3.00 s,引发力5.00 g,应变位移70.00%,引发距离2.00 mm。目标模式为应变位移,引发类型为自动(力)。

#### 1.3.4.4 观察水饺表面的冻裂情况

将达到冻融周期的水饺从冰箱中取出,观察速冻饺子皮表面的开裂情况,拍照记录。

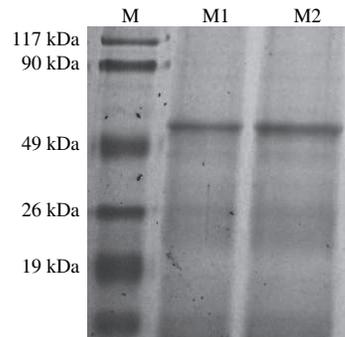
### 1.3.5 速冻饺子皮的SEM结构表征

将解冻后的速冻饺子皮样品用刀片切成2 mm×5 mm的小片<sup>[22]</sup>,加入2.5%、pH 6.8的戊二醛固定并置于4℃冰箱中固定1.5 h以上。用0.1 mol/L pH 6.8磷酸缓冲液冲洗2~3次,每次10 min。然后分别用50%、70%、90%的乙醇溶液进行脱水各一次。每次10~15 min,无

水乙醇脱水3次,每次10~15 min。无水乙醇-叔丁醇(1:1, V/V)溶液,纯叔丁醇各一次,每次15 min。放入冷冻干燥仪干燥。将干燥样品黏在样品台上,用镀膜仪镀上金属膜,置于SEM下观察样品的结构。

## 2 结果与分析

### 2.1 AISPs的SDS-PAGE分析



M. Marker; M1、M2. AISPs.

图1 AISPs的凝胶电泳图

Fig. 1 SDS-PAGE pattern of AISPs

由图1可知, AISPs的主条带清晰,其分子质量约为52 kDa,在30~35 kDa处也有条带。与沙冬青叶片中分离出的ISPs为40 kDa相比较<sup>[23]</sup>,分子质量稍高。另一条带接近于胡萝卜<sup>[24]</sup>和女贞叶<sup>[25]</sup>中分离出的分子质量为36 kDa的ISPs。

### 2.2 AISPs的THA检测结果

表1 AISPs的THA检测结果  
Table 1 THA values of AISPs

停留温度 $T_d/^\circ\text{C}$	再次冻结起始温度 $T_d/^\circ\text{C}$	THA/ $^\circ\text{C}$	冰核质量分数/%
-1.44	-1.96	0.52	66.42
-1.25	-1.79	0.54	60.86
-1.06	-1.60	0.54	52.92
-0.88	-1.42	0.54	44.73

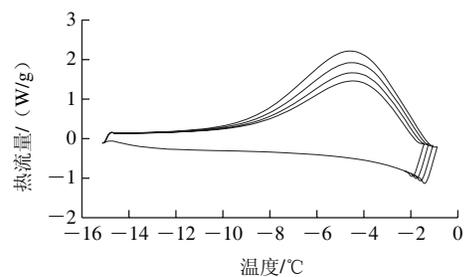


图2 AISPs的热流曲线

Fig. 2 Heat flow curve of AISPs

通过表1与图2中的THA可以看出,随着停留温度的降低,反复冻融并未对THA造成明显影响, AISPs的THA

均为0.54 °C，低于女贞叶ISPs的0.678 °C<sup>[25]</sup>高于沙冬青叶ISPs的0.46 °C<sup>[26]</sup>。表明AISPs的THA良好。

### 2.3 AISPs对速冻饺子皮持水性的影响

水分迁移是影响速冻饺子皮品质的主要因素之一<sup>[27]</sup>，冻结过程中，饺子皮中的水发生结晶。其中的半结合水由于与高分子物质结合不紧密而发生迁移，不断靠拢细小冰晶进而形成大冰晶，大冰晶会刺破面筋的网络结构。随着冻融次数的增加，面筋蛋白分子疏水基团暴露，降低了面筋蛋白的持水性，而大冰晶和重结晶会对面筋蛋白结构造成进一步的破坏，持水性也将进一步降低。因此，持水性间接反映了面筋蛋白内部网络结构的均一性及其稳定性。从图3可以看出，在冷冻过程中，速冻饺子皮的持水性在冻藏1周时最高，之后随着冻融周期的增加持水性呈下降趋势，但添加AISPs饺子皮的持水性普遍好于对照，且随着AISPs添加量的增加，其持水性增加。以AISPs添加量为0.5%时效果最好。说明在冷冻过程中，由于AISPs与冰的结合能力强，修饰冰晶形态能力强，AISPs能有效吸附锁住饺子皮中的水分，阻止了大冰晶的形成，提高了速冻饺子皮的持水性。

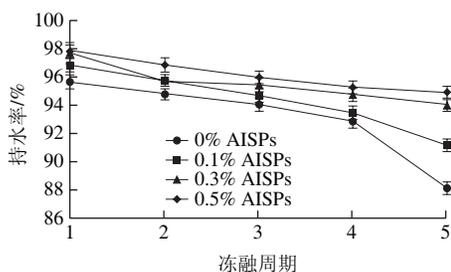


图3 AISPs对饺子皮持水率的影响

Fig. 3 Effect of AISPs on water-holding capacity of dumpling wrappers

### 2.4 AISPs对生、熟饺子皮质构特性的影响

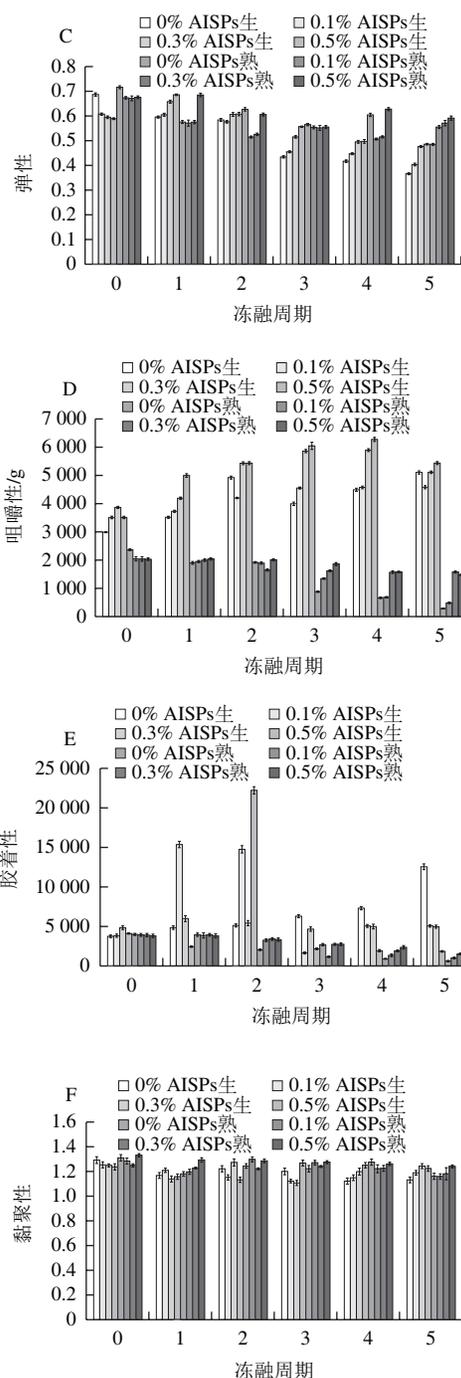
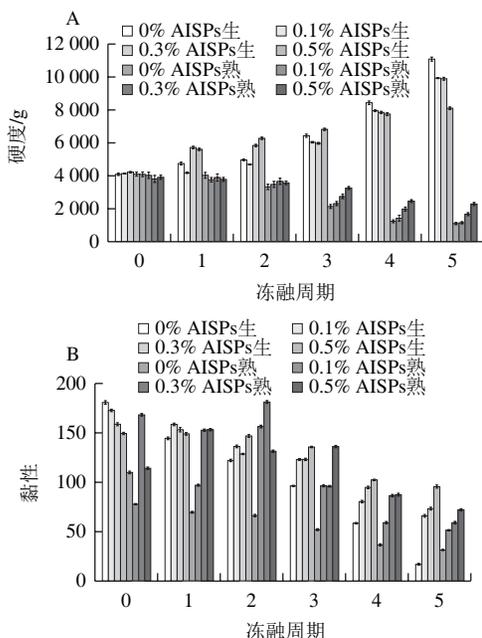


图4 AISPs对生、熟饺子皮硬度 (A)、黏性 (B)、弹性 (C)、咀嚼性 (D)、胶着性 (E) 和黏聚性 (F) 的影响

Fig. 4 Effect of AISPs on texture properties of cooked and raw dumpling wrappers

赵琳等<sup>[28]</sup>认为，不同品种间煮熟饺子皮的质构指标中如硬度、回复性、黏聚性、胶着性、咀嚼性等不同样品间均呈极显著差异，表明质构仪的测定指标均可反映饺子皮的质地结构差异，可作为评价饺子结构特性的客观量化指标。

从图4可以看出，随着冻融周期的增加，速冻生饺子皮的硬度、咀嚼性整体上升，其中硬度指标中添加AISPs

组低于对照,咀嚼性中添加组高于对照,胶着性不稳定;弹性、黏性整体下降,添加组均高于对照;黏聚性不稳定。以添加0.5% AISP组的改变明显。速冻饺子皮质品质的变化是水分结晶和重结晶造成的,且随着冰晶的变大,大冰晶会破坏面筋蛋白的网络结构,面筋蛋白网络结构的塌陷<sup>[29]</sup>,使硬度和咀嚼性升高;麦谷蛋白是数条亚基通过分子间—S—S—交联形成的聚合物,为面制品提供弹性和黏性。多次的冻融循环使饺子皮面筋蛋白和麦谷蛋白质量下降导致饺子皮的弹性、黏性明显下降;面筋蛋白网络结构不稳定,不均一导致了黏聚性的下降;而黏聚性的不稳定也说明了内部结构的不稳定<sup>[30]</sup>。本研究结果基本反映了以上原理,符合冷冻贮藏环境对速冻饺子质地特性的影响规律。从添加AISP的结果看,AISP影响了速冻生饺子皮的硬度、弹性和黏性,改善了速冻饺子皮在冻藏过程中的质地。

李雪琴等<sup>[31]</sup>研究了速冻饺子皮煮后质构指标与感官评价指标的相关性,结果显示,熟饺子皮的硬度、黏聚性、胶着性、咀嚼性与感官评价总分呈显著正相关,与食味极显著相关,弹性和黏性与感官评价总分不相关。从图4可以看出,经过5个周次的冻融循环后,添加AISP熟饺子皮的硬度、黏聚性、胶着性、黏性、弹性和咀嚼性均高于对照,且以添加0.5% AISP组的效果最显著。说明添加AISP很好地改善了速冻熟饺子皮的质地与感官特性。

通过比对,添加AISP速冻饺子皮生、熟条件下的硬度、胶着性和黏聚性的影响不同,说明添加AISP对于速冻饺子皮的部分质构特性和质地生、熟阶段产生的影响效果不同。因此,在检测评价速冻饺子皮的质地特性时,应结合生、熟饺子皮的质构特性指标进行综合评价。

低温条件下产生的冰晶对饺子皮面筋蛋白网络结构的破坏是不可逆的,冰晶越大破坏越大,这种结构的破坏影响了面筋蛋白内部的稳定性,进而影响水饺的口感和品质。而添加AISP可以有效地修饰冰晶形态,抑制重结晶,提高面筋蛋白网络结构的稳定性,对面筋蛋白和速冻饺子皮的质地起到了很好的抗冻保护作用。

## 2.5 饺子外观开裂情况

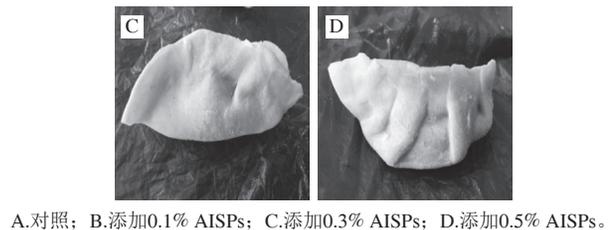
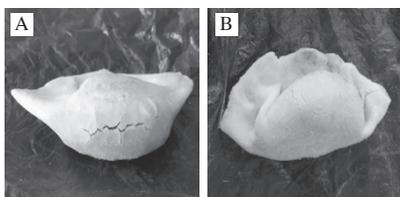


图5 5个冻融周期饺子皮开裂情况  
Fig. 5 Cracking condition of dumpling skin after 5 freeze-thaw cycles

经检查,冻融1~3个周期的饺子除空白外皆无开裂;4个冻融周期和5个冻融周期的饺子开裂情况基本相同。从图5可以看出,经过5个冻融周期后,对照饺子皮有大裂缝、开裂程度大;添加0.1% AISP的饺子皮裂纹较小;添加0.3% AISP的饺子皮现细小、可见裂纹;AISP添加量为0.5%的饺子皮表面完整、无开裂。说明AISP添加量为0.5%时对饺子皮冻裂保护最好。

## 2.6 速冻饺子皮的SEM结构表征

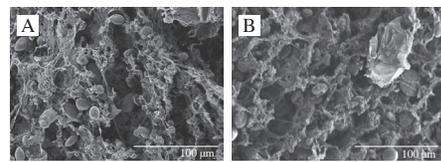


图6 速冻饺子皮的SEM结构表征  
Fig. 6 Structural characterization of quick-frozen dumpling wrapper by SEM

通过SEM可以观察到经过5个冻融循环后,速冻饺子皮的微观结构。从图6A可以看出,面筋膜粗糙变薄,断裂、不均匀,并出现不规则孔洞。孔洞变大且不规则、质地稀疏,面筋纤维塌陷,淀粉颗粒暴露较多,面筋蛋白网络破坏严重;从图6B可以看出,仍然有成片的面筋存在,面筋有少量断裂,面筋孔洞大小、规则、面筋体系连接紧密等均较好,孔洞虽变大,但形态规则、质地较均匀,面筋纤维不塌陷,淀粉颗粒暴露较少,面筋蛋白网络遭到破坏程度较小。说明,AISP对冻融条件下的面筋蛋白网络和淀粉颗粒具有良好的保护作用。速冻饺子皮的SEM结果佐证了在冻融过程中的开裂情况。

Gélinas等<sup>[32]</sup>的研究表明冰晶体的重结晶会导致蛋白质结构发生变化。Berglund等<sup>[33]</sup>发现冻藏会使面筋蛋白的网络结构发生明显的不连续、断裂,导致这种现象的主要原因是冰晶体的增长。速冻饺子皮的开裂主要是由面粉中面筋蛋白的网络结构被破坏引起的。由于温度的波动造成的冻融循环,会使饺子皮里的面筋蛋白中的冰晶发生迁移,此时面筋蛋白网络结构会受到挤压,挤压到一定程度网格中的冰晶会被释放出来,释放出来的冰晶会继续对面筋网络结构造成损伤,最终造成了整个面筋网络结构的破坏和坍塌。随着冻融次数的增加,面筋蛋

白分子疏水基团暴露,降低了面筋蛋白的持水性,此时冰晶的重结晶会对面筋蛋白结构造成进一步的破坏。这种对面筋蛋白网络结构的破坏,直接导致了速冻饺子外皮的开裂大小,面筋网络结构变差,使饺子皮的弹性和抗膨胀力下降,因此在速冻和冷藏过程中容易开裂。

### 3 结论

本研究采用冰结合磷酸缓冲溶液法,从苜蓿干草中提取制备AISPs,对其分子质量和THA进行鉴定,并添加于速冻饺子皮中,考察不同冻融周期的影响。得到结论如下:

AISPs的主要分子质量约为52 kDa, THA为0.54 °C。速冻饺子皮的持水性随着冻融周期的增加呈整体下降趋势,而AISPs添加组的持水性随添加量的增加而增加。添加AISPs对速冻饺子生、熟饺子皮的质构特性产生了影响,随着冻融周期的增加,生饺子皮中,同对照组相比添加组的硬度较低,咀嚼性较高,黏聚性不稳定;熟饺子皮中,硬度、咀嚼性、黏聚性都较对照增大。添加组中生、熟饺子皮的弹性和黏性均高于对照。其中以添加0.5% AISPs组的改变明显。经过5个冻融周期后,对照饺子皮的冷冻开裂程度大, AISPs添加组无明显开裂,其中0.5%组的饺子皮表面完整、无开裂。速冻饺子皮的SEM结构表征显示,添加AISPs能有效改善面筋蛋白的网络结构和淀粉颗粒。

综上, AISPs具有较好的抗冻活性,可以有效地防止速冻水饺内部面筋蛋白网络结构被破坏,对其质构特性产生了一定的影响,降低了冻融过程中的开裂现象,对速冻水饺皮的质地具有很好的抗冻保护作用,且冻融次数越多效果越明显。本实验为AISPs作为一种新型食品添加剂,在速冻水饺及冷链面食品中的应用提供了基础研究信息。

### 参考文献:

- [1] 樊凯凯, 刘爱国, 陈东, 等. 冰结构蛋白及其应用研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(9): 221-226.
- [2] GRAETHER S P, KUIPER M J, GAGN S M, et al. Helix structure and ice-binding properties of a hyperactive antifreeze protein from an insect[J]. Nature, 2000, 406: 325-328. DOI:10.1038/35018610.
- [3] DAVIES P L, BAARDSNERS J, KUIPER M J, et al. Structure and function of antifreeze proteins[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2002, 357: 927-935. DOI:10.1098/rstb.2002.1081.
- [4] SALLY O Y, ALAN B, ADAM J M, et al. Ice restructuring inhibition activities in antifreeze proteins with distinct differences in thermal hysteresis[J]. Cryobiology, 2010, 61: 327-334.
- [5] PAYNE S R, SANDFOR D, HARRIS A, et al. The effect of antifreeze proteins on chilled and frozen meat[J]. Meat Science, 1994, 37(3): 429-438. DOI:10.1016/0309-1740(94)90058-2.
- [6] 冯从经, 陆剑锋, 吕文静, 等. 抗冻蛋白研究进展[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(5): 481-486. DOI:10.3969/j.issn.1000-4440.2007.05.021.
- [7] 李玲玲, 贾春利, 黄卫宁. 冰结构蛋白对湿面筋蛋白冻藏稳定性的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(19): 25-30. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201019002.

- [8] 申璞航, 李雪琴, 张新阁. 冻藏对饺子皮品质的影响研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(5): 68-71. DOI:10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2015.05.014.
- [9] 杜双全, 黄娜. 分析品质改良剂对速冻水饺品质影响[J]. 现代食品, 2016, 5(9): 76-77. DOI:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2016.09.033.
- [10] 娄爱华, 杨泌泉. 添加剂对冷冻水饺品质的影响[J]. 食品工业科技, 2004, 25(3): 73-74. DOI:10.3969/j.issn.1002-0306.2004.08.020.
- [11] 李雪琴, 王显伦, 苗笑亮. 速冻水饺防裂技术[J]. 食品工业科技, 2007, 28(21): 93-96. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2007.01.021.
- [12] 孙婕, 尹国友, 韩贞凤, 等. 食品添加剂对速冻水饺品质特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3137-3139. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2010.06.136.
- [13] 陈凤莲, 鲍欢, 曲敏, 等. 寒地冬小麦冰结构蛋白的提取及抗冻活性的检测[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 280-284; 305. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.20.047.
- [14] 曲敏, 卢曼曼, 马琳琳, 等. 寒地冬小麦ISPs对预醒发冷冻面团的影响[J]. 粮食加工, 2017(2): 18-21.
- [15] 贾春利, 黄卫宁, 邹奇波, 等. 热稳定冰结构蛋白对小麦淀粉凝胶冻融稳定性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(7): 83-87.
- [16] 李凌俐, 曲敏, 刘羽佳, 等. 苜蓿冰结构蛋白抗冻活性及功能性研究[J]. 北方园艺, 2016, 40(7): 113-118. DOI:10.11937/bfy.201607028.
- [17] 张延红, 高素芳, 陈红刚, 等. 甘草种子蛋白质提取及SDS-PAGE电泳技术研究[J]. 种子, 2016, 35(2): 21-24. DOI:10.16590/j.cnki.1001-4705.2016.02.021.
- [18] 林莹, 辛志平, 古碧, 等. 不同乙酯淀粉对速冻饺子皮品质的影响[J]. 食品工业, 2011, 32(12): 25-28.
- [19] 潘治利, 邢仕敏, 张秀玲, 等. 反复冻融对麦谷蛋白结构及其功能性质的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(9): 47-53. DOI:10.16429/j.1009-7848.2015.09.007.
- [20] DAY L, AUGUSTIN M A, PEARCE R J, et al. Enhancement of gluten quality combined with reduced lipid content through a new salt-washing process[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 95(2): 365-372. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2009.05.018.
- [21] 黄莲燕, 张小爽, 张君慧, 等. 不同谷物麸皮对面团流变学特性及面筋蛋白结构的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 1-7. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201723001.
- [22] 刘亚楠, 王晓曦, 董秋晨. 面筋蛋白对冷冻面团超微结构及馒头品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2012(10): 6-9. DOI:10.3969/j.issn.1003-6202.2012.10.003.
- [23] 魏令波, 江勇, 舒念红, 等. 沙冬青叶片热稳定抗冻蛋白特性分析[J]. 植物学报(英文版), 1999, 41(8): 837-841. DOI:10.3321/j.issn:1672-9072.1999.08.010.
- [24] 田童童, 巩子路, 张建. DSC法检测抗冻蛋白的热滞活性的研究[J]. 中国酿造, 2014, 33(1): 127-132. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2014.01.030.
- [25] 刘尚, 廖祥儒, 张建国, 等. 一种女贞叶抗冻蛋白的分离纯化[J]. 植物学通报, 2007, 24(4): 505-510. DOI:10.3969/j.issn.1674-3466.2007.04.011.
- [26] 尉姗姗, 尹林克, 牟书勇, 等. 新疆沙冬青抗冻蛋白提取分离及其热滞活性测定[J]. 云南植物研究, 2007, 29(2): 251-255. DOI:10.3969/j.issn.2095-0845.2007.02.022.
- [27] 吴西芝, 刘宝林, 樊海涛. 低场核磁共振分析仪研究添加剂对冷冻面团持水性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(13): 21-25.
- [28] 赵琳, 兰静, 戴长军, 等. 饺子品质评价方法研究[J]. 粮食加工, 2007, 32(2): 46-48. DOI:10.3969/j.issn.1007-6395.2007.02.015.
- [29] 崔丽琴, 崔素萍, 马平, 等. 豆渣粉对小麦面团、馒头质构特性及馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 85-88. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201405017.
- [30] 任欣, 李小婷, 沈群. 冷冻贮藏环境对速冻水饺皮品质特性的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(6): 263-270. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.06.032.
- [31] 李雪琴, 葛静静, 谢沁, 等. 饺子皮感官品质和质构品质关系的研究[J]. 河南工业大学学报, 2012, 33(4): 1-4. DOI:10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2012.04.006.
- [32] GÉLINAS P, DEAUDELIN I, GRENIER M. Frozen dough: effects of dough shape, water content, and sheeting-molding conditions[J]. Cereal Foods World, 1995, 40: 124-126.
- [33] BERGLUND P, SHELTON D, FREEMAN T. Frozen bread dough ultrastructure as affected by duration of frozen storage and freeze-thaw cycles[J]. Cereal Chemistry, 1991, 68: 105-107.