

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80138

# 玉米淀粉对冷冻米线冻融品质的影响

杨婉莹<sup>1,2</sup> 王 韧<sup>1,2</sup> 冯 伟<sup>1,2</sup> 王 涛<sup>1,2</sup> 陈正行<sup>1,2</sup> 张 昊<sup>1,2,3</sup>

(1. 江南大学粮食发酵与食品生物制造国家工程研究中心, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 3. 南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** [目的] 改善米线速冻后断条率较高、浑汤严重等问题。[方法] 研究了添加 20% 玉米淀粉对冻融循环过程中冷冻米线蒸煮品质、质构特性、感官品质、可冻结水含量、水分分布和表面微观结构的影响。[结果] 添加玉米淀粉能显著提升冷冻米线冻融循环过程中的蒸煮品质, 其中冻融 4 次后蒸煮损失和断条率分别下降了 42.31% 和 36.97%, 米汤中溶出的直链淀粉和蛋白质含量也有明显下降。加入玉米淀粉后, 冷冻米线的硬度和咀嚼性分别上升了 22.97% 和 26.57%, 并且感官总评分上升了 13.04%。同时, 玉米淀粉的加入抑制了深层结合水向弱结合水的迁移, 降低了可冻结水的含量, 从而减轻了冰晶对冷冻米线的机械损伤, 使其表面更加光滑致密。[结论] 添加 20% 玉米淀粉可以提高冷冻米线的蒸煮品质和质构特性, 并延缓其品质劣变趋势, 同时抑制了内部水分流动性的增加, 减少冰晶的生成, 从而改善冷冻米线的冻融品质。

**关键词:** 冷冻米线; 玉米淀粉; 冻融; 蒸煮品质; 结构特征

## The effects of corn starch addition on the freeze-thaw qualities of frozen rice noodles

YANG Wanying<sup>1,2</sup> WANG Ren<sup>1,2</sup> FENG Wei<sup>1,2</sup> WANG Tao<sup>1,2</sup>  
CHEN Zhengxing<sup>1,2</sup> ZHANG Hao<sup>1,2,3</sup>

(1. National Engineering Research Center for Cereal Fermentation and Food Biomanufacturing, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 3. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

**Abstract:** [Objective] This study aimed to improve the high rate of broken rice noodles and serious muddy soup after flash freezing. [Methods] The effects of 20% corn starch addition on the cooking qualities, texture characteristics, sensory properties, freezable water content, moisture distribution and the surface microstructure of frozen rice noodles were investigated during the freeze-thaw treatment. [Results] The addition of corn starch significantly improved the cooking quality of frozen rice noodles during the freeze-thaw cycle. The cooking loss and the breaking rate decreased by 42.31% and 36.97%, respectively, after 4 cycles of freeze-thaw treatment. Moreover, the contents of amylose and rice protein in the soup significantly decreased. After adding corn starch, the hardness and chewiness of frozen rice noodles increased by 22.97% and 26.57%, respectively, and the total sensory score increased by 13.04%. Meanwhile, corn starch addition inhibited the transition of deep-bound water to weak-bound water and decreased the content of freezable water, weakening the mechanical damage of frozen rice noodles by ice crystals, which enabled a smoother surface of frozen rice noodles than the control. [Conclusion] The addition of 20% corn starch can improve the cooking quality and texture characteristics of frozen rice noodles, delay the deterioration of quality, inhibit the increase of internal water mobility and reduce the formation of ice crystals, thereby improving the freeze-thaw quality of frozen rice noodles.

**Keywords:** frozen rice noodles; corn starch; freeze-thaw; cooking qualities; structural feature

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(编号: 32301986)

通信作者: 王韧(1980—), 男, 江南大学教授, 博士。E-mail: nedved\_wr@jiangnan.edu.cn

收稿日期: 2024-02-08 改回日期: 2024-04-22

米线是中国的传统食品,口感爽滑、弹性十足,且其良好的附味性能易与各种汤料或酱料搭配,因而深受广大消费者喜爱。根据含水量的差异,米线可分为干米线(<14%)、半干米线(20%~48%)和鲜湿米线(60%~80%)<sup>[1]</sup>。干米线贮藏期长,可达2年,但食用不方便,烹调时间长,且风味口感不如鲜湿米线<sup>[2]</sup>。与干米线相比,鲜湿米线具有米香味浓郁、口感爽滑软弹、蒸煮方便等优点,但是其含水量恰好在淀粉易老化的水分区间(30%~70%)<sup>[3]</sup>,因此在贮藏过程中容易造成黏结成团、老化断条等,且高水分容易产生霉变、酸败等问题,贮藏期短。

为了延长保质期和食用方便,目前常用米线保鲜方式如下<sup>[4-5]</sup>:物理杀菌效果好,安全性高,但容易影响米线的品质;化学抑菌无需设备,经济便捷,目前被广泛应用于鲜湿米线的保鲜中,但存在添加剂使用超标等安全隐患;生物保鲜剂具有安全、无毒的特点,但只能一定程度地抑制品质劣变,仍无法达到长期保鲜。包装是隔绝外界污染,延长食品保质期的重要手段之一。目前,市场上的鲜湿米线一般采用低真空包装与热杀菌处理相结合,以达到长期贮藏的目的,但该方法会对鲜湿米线造成挤压,引起米线的粘连、变形。冷冻米线作为新的米线保鲜

手段,具有不添加防腐剂、食用方便、复热时间短、保质期长,并且能保有鲜米线口感等特点,有较好的市场潜力,但米线熟制后水分含量较高,状态不稳定,在冻藏期间存在品质劣变等情况。

研究发现,添加玉米淀粉(corn starch,CS)可以降低发酵挂面的蒸煮损失并缩短最佳蒸煮时间<sup>[6]</sup>,在大米粉中添加玉米淀粉可以提高凝胶的持水性,当玉米淀粉的质量分数为20%时,凝胶失重率最小,且弹性和咀嚼性达到最大,凝胶品质得到改善<sup>[7]</sup>。因此,课题组拟研究添加玉米淀粉对冷冻米线在冻融循环过程中品质变化的影响,并从水分特性、可冻结水含量和微观结构方面探讨玉米淀粉改善冷冻米线品质的内在机理,以为冷冻米线的加工生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

早籼、晚籼米粉(基本组成见表1):湖南聚宝金昊生物科技有限公司;

食品级玉米淀粉:水分含量为12.15%,直链淀粉含量为23.92%,山东恒仁工贸有限公司;

其他试剂:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

表1 早籼、晚籼米粉基本组成

Table 1 Basic composition of early indica and late indica rice flour %

样品	水分	直链淀粉	总淀粉	蛋白质	灰分	粗脂肪
早籼米粉	13.25±0.05	23.00±0.18	73.69±0.52	7.18±0.04	0.28±0.04	0.56±0.01
晚籼米粉	13.24±0.13	17.83±0.03	74.75±0.21	7.09±0.07	0.26±0.02	0.16±0.01

### 1.2 仪器与设备

速冻柜:NX-45-5型,佛山市雪狐制冷设备有限公司;

物性分析仪:TA-XT plus型,英国SMS公司;

紫外可见分光光度计:UV2100型,尤尼柯(上海)仪器有限公司;

低场核磁共振成像分析仪:MesoMR23-060V-I型,上海纽迈电子科技有限公司;

差示扫描量热仪:DSC3+型,梅特勒托利多科技(中国)有限公司;

扫描电子显微镜:SU8100型,日立高新技术(上海)国际贸易有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 冷冻米线的制备

(1) 工艺流程:

混合粉→糊化→成型→老化→晾干→干米线→复水→焖煮→冷却→速冻→-18℃冻藏

(2) 空白组米线:早籼米粉与晚籼米粉质量比为7:3,在米粉混合过程中加入约33.3%质量分数的水,米线经两段式自熟挤压机挤出后放入蒸箱中老化过夜,老化完

成后于室温下晾干。制作冷冻米线样品时,将干米线于水中浸泡4h,再置于85℃热水中焖煮10min后,冷水中冷却5min,沥干水分,包装后速冻。速冻结束后,样品放入-18℃冰箱保藏。

(3) 试验组米线:以玉米淀粉替换20%的混合米粉制成干米线,其他制作步骤与对照组一致。

1.3.2 米线冻融处理 样品处理参照刘倩<sup>[8]</sup>的方法。将冷冻米线样品转移至恒温恒湿箱中,温度设定为(25±1)℃,保持30min后取出,放入-18℃冰箱稳定24h,即为一个冻融循环。

#### 1.3.3 蒸煮特性分析

(1) 断条率:参照QB/T 2652—2004方法并加以改进。分别取冻融0~4次的冷冻米线样品,置于沸水中复热90s,冷水冲淋降温后,用滤纸控干表面水分,称重。挑出长度不足8cm的米线并称重。通过式(1)计算冷冻米线的断条率。

$$D = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

$D$ ——冷冻米线断条率, %;

$m_1$ ——复煮后冷冻米线的质量, g;

$m_2$ ——长度不足 8 cm 的米线的质量, g。

(2) 蒸煮损失: 根据 Sofi 等<sup>[9]</sup>的方法并稍作改进。在恒重烧杯中加入适量蒸馏水, 煮沸, 取冻融米线样品, 于沸水中复热 90 s 后捞出, 沥干水分待米汤冷却至室温后, 转移到容量瓶中, 定容至 500 mL, 并取 10 mL 于 105 °C 恒重。通过式(2)计算冷冻米线的蒸煮损失。

$$L = \frac{m_4 \times 50}{m_3} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

$L$ ——冷冻米线蒸煮损失, %;

$m_3$ ——复煮前冷冻米线的质量, g;

$m_4$ ——恒重后残余固形物的质量, g。

(3) 米汤蛋白含量: 冷却后的米汤定容至 500 mL, 分别取 1 mL 米汤和标准蛋白质溶液加入 5 mL 考马斯亮蓝溶液, 于 595 nm 下测定吸光度值, 基于测定液中蛋白质含量与其吸光度值成正比, 计算出样品中蛋白质的含量。

(4) 米汤碘蓝值: 米汤过滤后, 取 10 mL 于 100 mL 容量瓶中, 加入 1 mL 0.1 mol/L 的盐酸溶液和 1 mL 碘试剂, 用蒸馏水定容, 并于 620 nm 下测定吸光度值, 即为米汤的碘蓝值。

1.3.4 质构特性 参照胡健<sup>[10]</sup>的方法并稍作改进。将不同冻融循环次数的冷冻米线样品按上述方法复热, 用滤纸控干表面水分, 每次测试时取 5 根米线平行置于载物台上, 用物性分析仪进行 TPA 测定。测试条件: 探头为 P/25; 校正探头返回高度为 15 mm; 测试前、中、后速率均为 1.00 mm/s; 压缩形变为 40%。每个样品重复测试 8 次, 去除最大值和最小值, 取平均值为测定结果。

1.3.5 感官评价 感官评分标准见表 2, 由 8 名经过感官评价相关培训后的成员组成感官评定小组对冷冻米线进行评分, 每次品尝后要用纯净水漱口, 分别对米线样品的色泽、风味、形态、口感等给出评分, 去掉最高分和最低分, 以平均值作为最终得分。

1.3.6 可冻结水含量测定 采用差示扫描量热仪(differential scanning calorimeter, DSC)测定<sup>[11]</sup>。精准称取 10 mg 左右冷冻米线样品置于坩埚中, 密封并记录质量。以空坩埚为对照, 以流速 50 mL/min 的氮气为载气, 先以 10 °C/min 从 25 °C 降至 -20 °C, 并在 -20 °C 保持 5 min, 再以 5 °C/min 从 -20 °C 升高至 40 °C, 得到样品中可冻结水的焓变  $H_w$ , 代入式(3)计算。每个样品重复测定 3 次, 所得结果用平均值表示。

$$F = \frac{H_w}{H_i} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

$F$ ——可冻结水含量, %;

表 2 冷冻米线感官评分标准

Table 2 Sensory scoring criteria for frozen rice noodles

项目	评分标准	分值
色泽	白色, 无杂色, 有光泽	18~25
	白色, 少许杂色, 稍有光泽	9~17
	色泽暗淡, 杂色多, 无光泽	0~8
风味	米香味浓郁, 无异味	18~25
	米香味较淡, 无异味	9~17
	无米香味或有异味	0~8
形态	米线结构紧密, 表皮无开裂, 无断条或黏条	18~25
	米线表皮稍有开裂, 或稍有断条、黏条	9~17
	米线表皮开裂较多, 断条多或黏条严重	0~8
口感	米线软硬适中, 无粘牙或夹生口感	18~25
	米线较软或较硬, 基本无粘牙或夹生口感	9~17
	米线过软或过硬, 有粘牙或夹生口感	0~8

$H_w$ ——样品中的熔化焓值, J/g;

$H_i$ ——纯水结冰的熔化焓值, 335 J/g。

1.3.7 水分分布测定 参照 Carini 等<sup>[12]</sup>的方法并加以改进。将经过不同冻融循环次数处理的冷冻米线样品(约 10 g)复热后, 用生料袋包裹以防止样品的水分挥发, 再将样品放入直径为 25 mm 的测试管中测试。利用核磁共振成像分析仪(nuclear magnetic resonance, NMR)通过多脉冲回波序列(carr-purcell-meiboom-gill, CPMG)来表征冷冻米线的水分状态, 参数设置: 采样间隔时间 3 500 ms, 回波时间 0.400 ms, 回波个数 4 000, 放大倍数 1, 累加次数 2, 利用仪器自带的程序进行数据 100 万倍拟合反演得到  $T_2$  弛豫图谱。

1.3.8 微观结构表征 利用扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)观察冷冻米线的微观结构<sup>[13]</sup>。将冷冻米线样品从 -18 °C 冰箱中取出并分割成约 20 mm 小段, 然后于 -80 °C 下冷冻干燥。将冻干后的样品置于粘有导电胶的载物台上, 喷金, 并于 3.0 kV 电压下观察其表面结构。

1.3.9 数据分析 试验结果表示为平均值 ± 标准差。所有的测量均在 3 个平行重复中进行, 组间差异使用 SPSS 22.0 软件对试验数据分析, 使用 Origin 2023 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 添加玉米淀粉对冷冻米线蒸煮品质的影响

蒸煮损失和断条率是评价米线食用品质的重要指标。蒸煮损失主要为蒸煮过程中米线内的直链淀粉和可溶性蛋白的溶出, 而造成米线损失及米汤的浑汤<sup>[14]</sup>。对于米线而言, 蒸煮损失和断条率越小, 米线的品质越好。如图 1(a)和图 2(a)所示, 随着冻融循环次数的增加, 空白组冷冻米线的米汤逐渐变浑浊, 且蒸煮损失率持续升高。

经过冻融4次处理后,空白组蒸煮损失率达到了4.58%,可能是由于在冻融循环过程中生成冰晶,挤压破坏了米线原有的内部结构,导致可溶性蛋白[图2(b)]及直链淀粉[图2(c)]溶出增多。与空白组相比,试验组加入玉米淀粉显著降低了米汤中的可溶性蛋白和直链淀粉含量[图2(b)和图2(c)],进而降低了的米汤的浑浊度[图1(a)]及蒸煮损失率[图2(a)]。其中,经过4次冻融处理后,试验组米线的蒸煮损失率较空白组下降了42.31%。另一方面,空白组和试验组的断条率在冻融循环过程中持续上升,并在冻融3次后显著增加[图1(b)和图2(d)]。与空白组相比,试验组在冻融4次后断条率下降了36.97%,说明冻融处理会使冷冻米线的蒸煮品质下降,而玉米淀粉的加入可以减缓品质劣变,可能是玉米淀粉的加入使凝胶网络结构更加致密,可以降低因网络结构破坏而引起的脱水收缩,进而减少固形物的溶出<sup>[7]</sup>。

### 2.2 添加玉米淀粉对冷冻米线质构特性的影响

如表3所示,在冻融循环初期(循环次数≤2次),冷冻米线的硬度、弹性、咀嚼性无显著性差异( $P>0.05$ )。当冻融循环次数由2次增加至4次,空白组的硬度、咀嚼性分别由7.47,6.93 N下降至5.13,4.99 N( $P<0.05$ ),可能

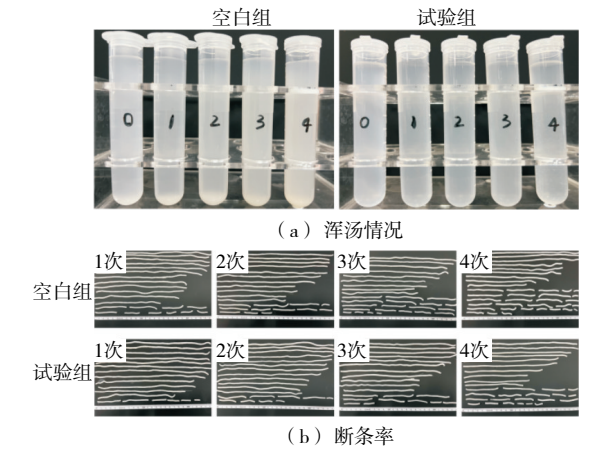
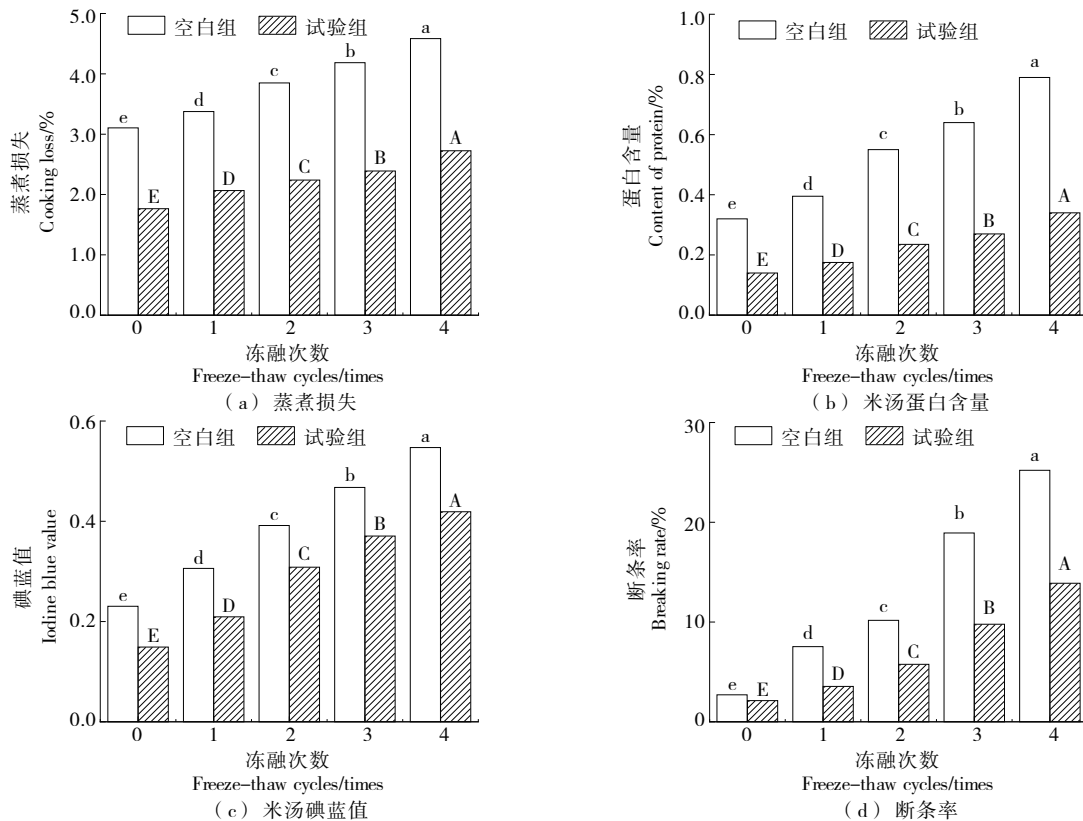


图1 添加玉米淀粉对冷冻米线浑汤情况和断条率的影响  
Figure 1 Effects of corn starch addition on the soup turbidity and breaking rate of frozen rice noodles

是米线内部冰晶融化后的水容易从凝胶结构中析出,使淀粉凝胶形成类似海绵状结构,而反复冻融循环处理加速了冰晶生长和海绵状结构形成,米线原有凝胶结构被破坏。冻融循环处理前,试验组的硬度相较于空白组增加了22.97%,并在冻融过程中持续高于空白组。这可能



字母不同表示有显著性差异( $P<0.05$ )

图2 添加玉米淀粉对冷冻米线蒸煮品质的影响

Figure 2 Effects of corn starch addition on the cooking qualities of frozen rice noodles



是因为玉米淀粉有利于米线的短期老化,有利于凝胶结构的形成。冻融 4 次后,空白组冷冻米线的硬度和咀嚼性分别下降了 32.71%, 29.86%, 而试验组则分别下降了 19.08%, 12.15%, 均优于空白组,这与文献[15]报道的结果基本一致。说明玉米淀粉可以提高冷冻米线的整体质地品质,并在冻融循环过程中起到一定的改善作用。

表 3 添加玉米淀粉对冷冻米线质构特性的影响<sup>†</sup>

Table 3 Effects of corn starch addition on the texture characteristics of frozen rice noodles

样品	冻融次数/次	硬度/N	弹性/mm	咀嚼性/N
空白组	0	7.63±0.54 <sup>a</sup>	0.99±0.05 <sup>a</sup>	7.12±0.55 <sup>a</sup>
	1	7.84±0.16 <sup>a</sup>	0.97±0.02 <sup>a</sup>	7.78±0.45 <sup>a</sup>
	2	7.47±0.72 <sup>a</sup>	0.99±0.04 <sup>a</sup>	6.93±0.58 <sup>a</sup>
	3	5.53±0.11 <sup>b</sup>	0.97±0.03 <sup>a</sup>	5.16±0.17 <sup>b</sup>
	4	5.13±0.19 <sup>b</sup>	0.98±0.01 <sup>a</sup>	4.99±0.48 <sup>b</sup>
试验组	0	9.38±0.13 <sup>AB</sup>	0.98±0.03 <sup>A</sup>	9.01±0.40 <sup>A</sup>
	1	10.05±0.16 <sup>A</sup>	0.99±0.02 <sup>A</sup>	9.23±0.79 <sup>A</sup>
	2	8.98±0.21 <sup>B</sup>	0.99±0.02 <sup>A</sup>	8.75±0.36 <sup>A</sup>
	3	8.09±0.33 <sup>C</sup>	0.98±0.04 <sup>A</sup>	8.05±0.07 <sup>B</sup>
	4	7.59±0.32 <sup>C</sup>	0.97±0.03 <sup>A</sup>	7.91±0.41 <sup>B</sup>

<sup>†</sup> 同列字母不同表示有显著性差异( $P < 0.05$ )。

### 2.3 添加玉米淀粉对冷冻米线感官品质的影响

如图 3 所示,经过冷冻循环处理后,空白组米线的口感显著降低,当冻融循环次数增至 4 次,其口感评分由初期的 22.60 下降至 16.70,且总评分只有 70,即感官品质较差<sup>[16]</sup>。添加 20% 玉米淀粉可以明显提高试验组冷冻米线的感官评分,这可能是加热糊化时水分子进入玉米淀粉

颗粒内部,导致其吸水膨胀,无定型直链淀粉浸出,增加了米线中直链淀粉的相对含量,有利于形成致密的凝胶结构,在冻融过程中能更好地维持米线品质<sup>[17]</sup>。

### 2.4 添加玉米淀粉对冷冻米线可冻结水含量和水分分布情况的影响

冷冻米线中包含可冻结水和非可冻结水。其中,非可冻结水在凝胶结构被破坏后可转化为可冻结水。由于水分冻结时发生体积膨胀,会对米线造成机械损伤,破坏组织结构,不利于保持米线品质<sup>[18]</sup>。由表 4 可知,随着冻融循环次数增加,空白组可冻结水含量持续上升,并在 4 次冻融后达到 91.25%。试验组同样呈上升趋势,但相同冻融循环次数下,添加玉米淀粉的样品的可冻结水含量显著低于空白样品( $P < 0.05$ ),并在冻融 0 次和 4 次时分别比空白组低 3.88% 和 4.73%,说明添加玉米淀粉的冷冻米线在冻融过程中表现出更好的持水性,能够束缚非可冻结水,使其不易转化为可冻结水,从而减少了冰晶对凝胶结构的损伤<sup>[19]</sup>。

米线、面条中的水分结合状态通常采用低场核磁测定。横向弛豫时间  $T_2$  值越小,说明水分结合越紧密,反之说明水分流动性越强<sup>[20]</sup>。冷冻米线中存在深层结合水( $T_{21}$ )和弱结合水( $T_{22}$ ),其比例分别用  $A_{21}$  和  $A_{22}$  来表示。由表 4 可知,随着冻融循环次数的增加,空白组和试验组均呈现  $A_{21}$  减小,  $A_{22}$  增大的趋势,表明水分向着结合不紧密的方向移动<sup>[21]</sup>。与空白样品相比,添加玉米淀粉后,  $T_{21}$  和  $T_{22}$  值减小,  $A_{21}$  上升,而  $A_{22}$  下降,表明冷冻米线内的深层结合水含量增多,添加玉米淀粉可以使冷冻米线中的水分在冻融循环过程结合得更加紧密,不易流动,有利于冻藏品质的提升,与可冻结水含量测试结果相一致。

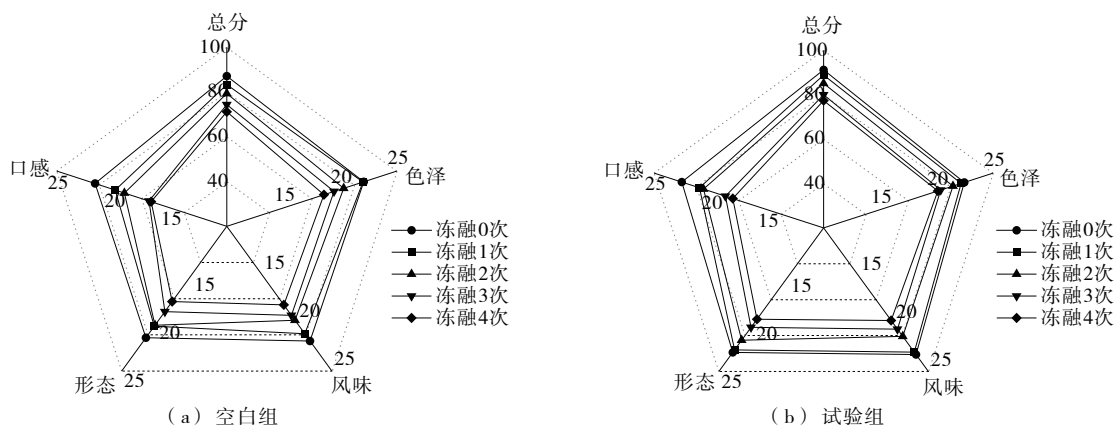


图 3 添加玉米淀粉对冷冻米线感官品质的影响

Figure 3 Effects of corn starch addition on the sensory quality of frozen rice noodles

### 2.5 添加玉米淀粉对冷冻米线微观结构的影响

如图 4 所示,未经冻融处理的两组样品表面均较为光

滑,空白组仅存在少数大小约为 10  $\mu\text{m}$  的孔洞,经过 2 次冻融循环处理后,空白组米线表面变得粗糙,孔洞尺寸增

表4 添加玉米淀粉对冷冻米线可冻结水含量和水分分布情况的影响<sup>†</sup>

Table 4 Effects of corn starch addition on the content of freezable water and the moisture distribution in frozen rice noodles

样品	冻融次数/次	可冻结水含量/%	$T_{21}$ /ms	$T_{22}$ /ms	$A_{21}$ /%	$A_{22}$ /%
空白组	0	76.22±0.44 <sup>e</sup>	1.48±0.10 <sup>e</sup>	38.78±2.69 <sup>e</sup>	7.75±0.24 <sup>a</sup>	92.25±0.14 <sup>d</sup>
	1	78.57±0.34 <sup>d</sup>	3.18±0.01 <sup>d</sup>	41.29±0.37 <sup>e</sup>	7.44±0.07 <sup>a</sup>	92.56±0.08 <sup>d</sup>
	2	83.07±0.42 <sup>c</sup>	3.89±0.28 <sup>e</sup>	45.55±1.85 <sup>b</sup>	6.93±0.07 <sup>b</sup>	93.07±0.10 <sup>c</sup>
	3	86.37±0.62 <sup>b</sup>	4.57±0.22 <sup>b</sup>	54.54±0.44 <sup>a</sup>	6.20±0.25 <sup>c</sup>	93.80±0.20 <sup>b</sup>
	4	91.25±0.10 <sup>a</sup>	6.08±0.25 <sup>a</sup>	57.42±2.27 <sup>a</sup>	5.71±0.16 <sup>d</sup>	94.29±0.06 <sup>a</sup>
试验组	0	73.26±0.61 <sup>E</sup>	1.32±0.14 <sup>F</sup>	37.37±1.20 <sup>C</sup>	8.26±0.21 <sup>A</sup>	91.74±0.18 <sup>E</sup>
	1	75.87±0.87 <sup>D</sup>	2.83±0.11 <sup>D</sup>	39.91±1.44 <sup>CD</sup>	7.58±0.08 <sup>B</sup>	92.42±0.05 <sup>D</sup>
	2	79.58±1.13 <sup>C</sup>	3.28±0.19 <sup>C</sup>	43.12±1.84 <sup>BC</sup>	7.02±0.10 <sup>C</sup>	92.97±0.07 <sup>C</sup>
	3	82.87±0.88 <sup>B</sup>	3.84±0.17 <sup>B</sup>	46.36±3.25 <sup>B</sup>	6.37±0.11 <sup>D</sup>	93.63±0.12 <sup>B</sup>
	4	86.94±0.89 <sup>A</sup>	4.55±0.09 <sup>A</sup>	52.34±2.12 <sup>A</sup>	6.01±0.14 <sup>E</sup>	93.99±0.09 <sup>A</sup>

<sup>†</sup> 同列字母不同表示有显著性差异( $P<0.05$ )。

加至 20  $\mu\text{m}$ ,且数量增多,当冻融循环增至4次,空白组开始出现撕裂状态的孔洞。该变化可能是由于米线表面凝胶结构中自由水流失,同时支链淀粉的重结晶导致米线老化,米线内部的结晶网络紧缩使其失水,而释放的水分再次冻结,对米线凝胶结构产生反复损伤,从而使冷冻米线表面变得粗糙且孔洞增多<sup>[22]</sup>,与冷冻米线蒸煮品质、质构特性和感官评分持续下降的结果相佐证。相比于空白组,试验组米线表面的孔洞的数量和尺寸较小。玉米淀粉的加入使体系中的直链淀粉含量上升,延缓了冷冻米线的长期老化,同时抑制水分的流动性增加,改善了冷冻米线的冻融品质。

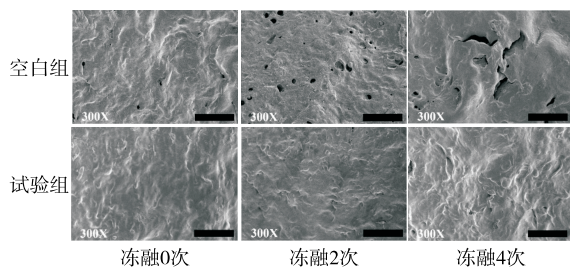


图4 添加玉米淀粉对冷冻米线微观结构的影响

Figure 4 Effects of corn starch addition on the microstructure of frozen rice noodles

### 3 结论

添加玉米淀粉降低了冷冻米线蒸煮过程中淀粉与蛋白质的溶出,改善了米线在冻融循环过程中的蒸煮损失和断条率,并提高了硬度和咀嚼性,延缓了冷冻米线在冻融循环过程中的劣变趋势。此外,玉米淀粉的加入可以一定程度地抑制水分向流动性更强的方向移动,从而减少冰晶的损伤,有利于保护米线的凝胶结构。同时,添加

玉米淀粉使得冷冻米线结构更紧密,孔隙数量及大小均低于空白组。说明添加玉米淀粉可以改善冷冻米线的冻融品质。

### 参考文献

- [1] 刘小青,叶发银,雷琳,等. 大米米线加工适性评价及改良方法研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(6): 307-315.  
LIU X Q, YE F Y, LEI L, et al. Research progress on suitability evaluation and improvement methods of rice noodle processing [J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(6): 307-315.
- [2] 梁蕊,叶发银,陈嘉,等. 米粉品质改良剂研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(7): 346-353.  
LIANG R, YE F Y, CHEN J, et al. Research progress on quality improver for rice noodles[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(7): 346-353.
- [3] WANG L. Starch foods of anti-aging[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2011(4): 63-64, 69.
- [4] 钱鑫,周文化,李良怡,等. 鲜湿米粉抗老化研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(10): 208-214.  
QIAN X, ZHOU W H, LI L Y, et al. Progress of anti-aging research on fresh rice noodles[J]. Food & Machinery, 2021, 37(10): 208-214.
- [5] LI C M, YOU Y X, CHEN D, et al. A systematic review of rice noodles: raw material, processing method and quality improvement[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 107: 389-400.
- [6] 王家胜,刘翀,王婷,等. 天然马铃薯、木薯和玉米淀粉添加对发酵挂面品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 40-47.  
WANG J S, LIU C, WANG T, et al. Effects of natural potato, cassava and corn starch on the quality of fermented noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 40-47.
- [7] 李琳,陈洁,陈玲. 玉米淀粉对大米粉凝胶特性的影响[J]. 河

- 南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(4): 7-11, 40.
- LI L, CHEN J, CHEN L. Effect of corn starch on gel properties of rice flour[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 40(4): 7-11, 40.
- [8] 刘倩. 冷冻熟面在冻藏过程中品质变化规律及调控研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019: 9.
- LIU Q. Study on quality change and regulation of frozen cooked noodles during storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019: 9.
- [9] SOFI A S, SINGH J, MIR A S, et al. In vitro starch digestibility, cooking quality, rheology and sensory properties of gluten-free pregelatinized rice noodle enriched with germinated chickpea flour[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 133: 110090.
- [10] 胡健. 半干江西米粉的制备及其保鲜储藏研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2018: 14.
- HU J. Study on the preparation and keeping storage of intermediate moisture Jiangxi rice noodle[D]. Nanchang: Nanchang University, 2018: 14.
- [11] TRAN T, THITIPRAPHUNKUL K, PIYACHOMKWAN K, et al. Effect of starch modifications and hydrocolloids on freezable water in cassava starch systems[J]. Starch-Stärke, 2008, 60(2): 61-69.
- [12] CARINI E, VITTADINI E, CURTI E, et al. Effect of different mixers on physicochemical properties and water status of extruded and laminated fresh pasta[J]. Food Chemistry, 2009, 122(2): 462-469.
- [13] PAN Z L, HUANG Z M, MA J Y, et al. Effects of freezing treatments on the quality of frozen cooked noodles[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(5): 1 926-1 935.
- [14] PETITOT M, BOYER L, MINIER C, et al. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: pasta processing and quality evaluation[J]. Food Research International, 2009, 43(2): 634-641.
- [15] 陶醉, 谢岚, 包劲松, 等. 玉米淀粉对鲜湿米粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 181-185.
- TAO Z, XIE L, BAO J S, et al. Effect of corn starch on quality of fresh and wet rice flour[J]. Food & Machinery, 2019, 35(1): 181-185.
- [16] 胡海鹏, 张聪男, 薛薇, 等. 不同抗氧化剂对鲜湿米线品质及储藏稳定性的影响[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(12): 30-37.
- HU H P, ZHANG C N, XUE W, et al. Effects of different antiaging agents on the quality and storage stability of fresh and wet rice noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(12): 30-37.
- [17] 余晓宇, 王远辉, 陈洁, 等. 加水量和制面厚度对冷冻熟面复煮后表面黏性的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(2): 55-61.
- YU X Y, WANG Y H, CHEN J, et al. Effects of water addition and noodle-making thickness on the surface viscosity of frozen cooked noodles after recooking[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 40(2): 55-61.
- [18] 黄峻榕, 马珂莹, 蒲华寅, 等. 面团冻藏对陕西 Biangbiang 面条品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(2): 79-85.
- HUANG J R, MA K Y, PU H Y, et al. Effect of dough frozen storage on the quality of Shaanxi Biangbiang noodles[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(2): 79-85.
- [19] 岳凤玲, 朱科学, 郭晓娜. 面粉中破损淀粉含量对冷冻熟面品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 4-8, 22.
- YUE F L, ZHU K X, GUO X N. Effect of damaged starch in wheat flour on qualities of frozen cooked noodles[J]. Food & Machinery, 2017, 33(4): 4-8, 22.
- [20] 陈乐寒, 张影全, 巨明月, 等. 不同预煮时间的面条冻藏过程中水分的迁移规律[J]. 中国食品学报, 2023, 23(3): 240-248.
- CHEN L H, ZHANG Y Q, JU M Y, et al. The water migration of noodle with different precooking time during frozen storage [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(3): 240-248.
- [21] 刘锐, 武亮, 张影全, 等. 基于低场核磁和差示量热扫描的面条面团水分状态研究[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 288-294.
- LIU R, WU L, ZHANG Y Q, et al. Water state and distribution in noodle dough using low-field nuclear magnetic resonance and differential scanning calorimetric[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(9): 288-294.
- [22] 卢斌, 李才明, 顾正彪, 等. 羟丙基淀粉对鲜湿米粉贮藏品质的影响及其作用机理分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(2): 16-22.
- LU B, LI C M, GU Z B, et al. Effect of hydroxypropyl starch on storage quality of fresh rice noodles and its mechanism analysis[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 43(2): 16-22.
- (上接第 9 页)
- [45] Committee on Injury, Violence, and Poison Prevention. Prevention of choking among children[J]. Pediatrics, 2010, 125(3): 601-607.
- [46] 黄建, 郭保平, 张霆, 等. 婴幼儿辅食餐: T/CIFST 014—2023 [S]. 北京: 中国食品科学技术学会, 2023: 1-2.
- HUANG J, GUO B P, ZHANG T, et al. Infant complementary meal: T/CIFST 014—2023[S]. Beijing: Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023: 1-2.
- [47] 崔淼, 王硕, 杨振宇, 等. 我国 6~23 月龄婴幼儿喂养行为与营养不良的关联性研究[J]. 中国预防医学杂志, 2024, 25(4): 473-477.
- CUI M, WANG S, YANG Z Y, et al. Study on the association between feeding practices and malnutrition among infants and young children aged 6~23 months in China[J]. Chinese Preventive Medicine, 2024, 25(4): 473-477.