# 可得然胶改善凉皮冷藏保存品质的机理研究

伏佳静， 马珂莹， 蒲华寅， 邝吉卫， 黄峻榕*

（陕西科技大学 食品科学与工程学院，陕西 西安 710021）

**摘要：** 可得然胶是由微生物发酵产生的多糖，也是一种膳食纤维。凉皮回生是制约其工业化生产的瓶颈问题。为探究可得然胶对方便预制凉皮回生的影响，在凉皮中添加质量分数0~1.0%的可得然胶，4 ℃冷藏3 d研究其对凉皮保存品质的影响。结果表明：随着可得然胶添加质量分数由0增大至1.0%，凉皮的硬度从273.18 g降低至230.98 g，咀嚼度从122.74减小至91.96。低场核磁（LF-NMR）分析表明，可得然胶能够使水分子与样品的结合更为紧密，凝胶持水性增强；扫描电镜观察发现，添加可得然胶的凉皮内部结构变得致密。凉皮相对结晶度从11.1%降低至8.3%；短程有序度随添加量的增加而降低，回生焓值由5.2 J/g降低至4.3 J/g。当可得然胶添加量为0.8%时感官评分最高，冷藏3 d凉皮的硬度值比对照低15.5%，延缓了凉皮在冷藏过程中的品质劣变。本研究为可得然胶在凉皮及淀粉质食品中抗回生的应用提供参考。

**关键词：** 凉皮；可得然胶；凝胶；回生特性

**中图分类号：**TS 236　**文章编号：**1673-1689(2022)11-0090-08　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.11.011

## Mechanism of Curdlan to Improve Liangpi Quality during Refrigeration

*FU Jiajing*， *MA Keying*， *PU Huayin*， *KUANG Jiwei*， *HUANG Junrong**

（School of Food Science and Technology, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China）

**Abstract：** Curdlan is a bacterial polysaccharide, which is also a dietary fiber. The retrogradation of Liangpi during storage was a bottleneck restricting its industrialization. In order to explore the effect of curdlan on the retrogradation of Liangpi, 0% ~ 1.0% curdlan was added to Liangpi. And it was stored at 4° C for 3 days to study the effect of curdlan on its preservation quality. The results showed that the hardness of Liangpi decreased from 273.18 g to 230.98 g, and the chewiness decreased from 122.74 to 91.96 with the amount of curdlan increased from 0% ~ 1.0%. Low-field nuclear magnetic (L-NMR) analysis showed that curdlan could bind water molecules more tightly and the water holding capacity of gel was enhanced. Scanning electron microscope showed that the internal structure of Liangpi became dense. The relative crystallinity decreased from 11.13% to 8.28%. The short-range order of Liangpi decreased and the enthalpy of retrogradation decreased from 5.2 J/g to 4.33 J/g as the amount of curdlan increased. The sensory score was the highest with 0.8% curdlan. The hardness of Liangpi was 15.5% lower than that of the control. The curdlan delayed the quality

**收稿日期：** 2022-03-14

**基金项目：** 国家自然科学基金项目（31772012）；陕西省教育厅科研计划项目（2022NY-011）。

* **通信作者：** 黄峻榕（1971—），女，博士，教授，博士研究生导师，主要从事天然食品高分子资源的开发与利用方面的研究。

E-mail：huangjunrong@sust.edu.cn

deterioration of Liangpi during refrigeration. This study provided a reference for the application of curdlan in anti-retrogradation of Liangpi and starch products.

**Keywords:** Liangpi, curdlan, gel, retrogradation

凉皮是陕西地区的特色小吃之一,距今已有两千多年的历史。凉皮根据原料可分为面粉类、大米类、淀粉类和杂粮类,根据制作工艺的不同可以分为面皮、擀面皮和米面皮[1-2]。目前以小麦淀粉为原料的凉皮占据主要的市场份额,属于淀粉凝胶类食品。凉皮在贮藏期间容易回生,随保存时间的延长逐渐变硬,易断条、品质变差、货架期短。因此,对凉皮及其它淀粉质食品回生的改良及配方工艺优化一直都是研究的热点。王思宇等[3]通过在方便面皮中添加魔芋胶、聚丙烯酸钠、马铃薯淀粉等多种食品添加剂，使得 4 ℃冷藏 4 d 的方便面皮硬度增幅由原配料对照组的 134.58%降至 66.51%,有效延缓了方便面皮的回生。张雷等[4]研究不同食用胶(魔芋胶、瓜尔豆胶、黄原胶、卡拉胶)和淀粉(醋酸酯淀粉、马铃薯淀粉、糯米粉)对蒸面皮回生的影响。单因素试验和正交试验表明,蒸面皮最佳食用胶为魔芋胶,最佳淀粉为马铃薯。当马铃薯淀粉添加质量分数为 3%、魔芋胶添加质量分数为 0.2%时,蒸面皮货架期延长至 5 d。彭毅秦[5]等以板栗粉为主要原料制作面皮,发现添加板栗粉后弹性降低、硬度增高,当板栗粉添加质量分数为 15%时,面皮品质最佳。

可得然胶(Curdlan)是一种由微生物发酵产生的多糖,其线性大分子结构全部由 $\beta$-1,3 糖苷键连接而成。一般情况下每个可得然胶分子由 300~500 个葡萄糖残基组成,平均聚合度为 450,相对分子质量约为 50 000[6]。在不同加热温度条件下,可得然胶形成热可逆凝胶和热不可逆凝胶。当可得然胶水溶液加热至 55~60 ℃,然后冷却至 40 ℃以下时,获得的凝胶是热可逆的。当该水溶液加热到 80 ℃以上时,形成热不可逆高强度凝胶[7]。可得然胶具有无毒、安全以及加热形成凝胶的独特性质,使其在面制食品、冷冻食品、肉制品等方面有广泛的应用[8-9]。Oishi 等在面条中加入可得然胶降低了面条的蒸煮损失,改善了面条的质构[10]。李才明等研究发现,可得然胶添加质量分数在 0.4%~0.6%范围内时能够延缓米粉的长期回生,并使米粉凝胶网络更加致密[11]。可得然胶也可以用于猪肉肠、鱼糜等肉制品中,提高肉制品的持水力与弹性[12]。

方便预制食品是一种以机械作业为主、批量生产的工业化产品,一般在社区便利店销售,冷链储运，冷藏保质期 3 d，微波炉复热 2~3 min 即可食用,新鲜且方便快捷。淀粉的回生会对凉皮的品质和货架期产生影响,这也是方便预制凉皮在销售期间面临的主要难题。作者以小麦淀粉为原料制作凉皮,针对便利店销售的方便预制凉皮的品质控制需求,向凉皮中添加可得然胶并经过真空包装在 4 ℃冷藏 3 d，通过表征分析可得然胶对凉皮品质的影响及机理,为凉皮品质改良及工业化生产提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

小麦淀粉：购于上海正宝惠食品有限公司;可得然胶:购于江苏一鸣生物科技有限公司;无水乙醇:购于天津天力化学试剂有限公司;溴化钾:购于天津科密欧化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

TA.XT Plus C 物性分析仪：美国 SMS 公司产品;Q2000 型示差扫描量热分析仪:美国 TA 公司产品;D8 Advance X 射线衍射仪：德国布鲁克公司产品;STA449 F3 傅里叶红外光谱仪:德国布鲁克公司产品;Verios 460 高分辨场发射扫描电镜：美国 FEI 公司产品;PQ001-20-025V 低场核磁共振分析仪:苏州纽迈分析仪器有限公司产品。

### 1.3 实验方法

**1.3.1 凉皮样品制备** 淀粉中添加质量分数为 0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%和 1.0%的可得然胶(相对于淀粉质量)，淀粉与水比例为 1:2 调制成淀粉乳。将干净的凉皮罗底部均匀刷上少量食用油,倒入 45 g 的淀粉乳均匀分散。将凉皮罗放入沸水中,

加盖加热 3 min 后取出,放入凉水中冷却至室温。将凉皮从罗内揭下,表面刷油防止粘连,即完成凉皮的制作。将成品凉皮在无菌操作台内冷却,进行真空包装,将包装好的凉皮置于 4 ℃下冷藏 3 d。

**1.3.2 质构特性的测定** 采用 TA.XT Plus C 物性分析仪进行测定。将凉皮样品置于物性分析仪中进行测试,选择二次压缩(TPA)模式和 A/LKB 型探头。参数设置:测试速度及测试前后的速度都设定为 1.00 mm/s,压缩程度为 75%,两次压缩之间停留时间为 5 s,触发力 5 g,压缩次数 2 次,每项测试重复 3 次。

**1.3.3 水分迁移变化规律测定** 采用 PQ001-20-025V 低场核磁共振分析仪进行测定。将凉皮样品置于玻璃管中,利用多脉冲回波序列 Carr Purcell Meiboom Gill(CPMG)测定样品的横向弛豫时间 $T_2$。参数设置:射频信号频率偏移量 O1 为 876 754.96 Hz,采样点数 TD 为 900 020,采样频率 SW 为 200 kHz,累加次数 NS 为 4,回波个数 NECH 为 15 000。对 CPMG 序列采样数据进行拟合得到各样品的波谱图和 $T_2$ 值,每个样品进行 3 次 LF-NMR 测试,数据取平均值。

**1.3.4 微观结构测定** 采用 FEI Verios 460 扫描电子显微镜对凉皮截面的微观结构进行观察。在扫描电镜载物台上粘贴双面导电胶,冻干后的样品经预处理后固定于导电胶上,样品截面朝上。经过真空喷金处理后将载物台放入样品室,在 2 kV 的加速电压下放大 2 000 倍观察。

**1.3.5 结晶特性测定** 将添加不同比例可得然胶的凉皮冻干粉采用 D8 Advance X 射线衍射仪进行表征,测定条件:射线波长为 1.542 Å 的 Cu-Kα 射线,石墨单色器,管压和管流分别为 40 kV 和 40 mA,扫描速度 4°/min,扫描范围 4~40°,DS 为 1°,SS 为 1°,RS 为 0.3 mm。相对结晶度由分析软件 Jade 6.0 计算。

**1.3.6 短程有序结构测定** 采用溴化钾(KBr)压片法,按照淀粉样品 1%的比例与 KBr 充分混合并研磨,压成厚薄适中的压片进行测试。测试条件为:扫描波数设置为全波长 4 000~400 $cm^{-1}$(4 000~1 300 $cm^{-1}$ 为官能团区,1 300~800 $cm^{-1}$ 为指纹区),可分辨的最小波长间隔为 4 $cm^{-1}$,以纯 KBr 压片为空白背景。使用 OMNIC 软件对红外光谱进行去卷积处理。

**1.3.7 热学特性测定** 利用 Q2000 型差式扫描量热仪测定凉皮热学参数。将样品冻干粉于铝盘中,加入蒸馏水配成质量分数为 30%的淀粉悬浮液,压盘密封后,用 Q2000 型差示扫描量热仪测定,升温速率为 10 ℃/min,升温范围为 20~100 ℃。

**1.3.8 凉皮感官评价** 根据相关文献中的感官评价标准,制定出凉皮感官评价标准,对凉皮色泽(10 分),口感(20 分)、表观(10 分)、粘性(25 分)、韧性(25 分)、光滑性(5 分)、味道(5 分)进行评分。

### 1.4 统计分析

使用 Origin 2018 软件进行绘图,运用 SPSS 22.0 软件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 可得然胶对凉皮质构性质的影响

将添加不同比例可得然胶的凉皮经真空包装后置于 4 ℃下冷藏 3 d,进行全质构测定,得到硬度、粘性、弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性和回复性等质构参数。可得然胶对凉皮质构特性的影响见表 1。与对照组相比,当可得然胶添加质量分数增加到 0.6%后,凉皮的粘性降低;添加可得然胶对凉皮的内聚性和回复性无显著性影响。随着可得然胶添加质量分数(0.2%~0.8%)的提高,凉皮的感官评分逐渐增大,当添加质量分数为 0.8%时,感官评分最高;添加质量分数提高至 1.0%时,感官评分下降,与对照组相当。硬度是测定淀粉质食品回生的一个典型特性,是一个与淀粉回生直接相关的因素,硬度越大说明淀粉回生的程度越大[13]。

从图 1 可以看出,随着可得然胶添加质量分数的增加,凉皮的硬度和咀嚼性呈现出先降低后增加的趋势。这可能是由于可得然胶对 4 ℃冷藏期间淀粉分子链的移动具有限制作用,使凉皮的硬度随添加质量分数增加而降低[14-15]。可得然胶添加质量分数为 0.8%的凉皮硬度和咀嚼性最小,与对照相比,分别减小了 15.5%和 25.1%,并与对照组凉皮冷藏 2 d 的品质相当[16]。当可得然胶的添加质量分数增大至 1.0%时,硬度升高,与添加质量分数 0.2%的样品组和对照组相当。

### 2.2 可得然胶对凉皮水分迁移的影响

淀粉的回生涉及淀粉分子有序化排列和水分的迁移[17]。横向弛豫时间($T_2$)对水分子迁移变化很敏感,通常被看作是表征水分迁移的重要指标[18]。通过低场核磁测定横向弛豫时间($T_2$)来研究样品与水

表 1　可得然胶对凉皮质构特性的影响

Table 1　Effect of curdlan on texture properties of Liangpi

| 添加质量分数/% | 粘性/(g·s) | 弹性 | 内聚性 | 胶黏性 | 回复性 | 感官评分 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | −2.37±2.37$^{a}$ | 0.94±0.12$^{ab}$ | 0.46±0.18$^{a}$ | 132.04±35.64$^{a}$ | 0.26±0.18$^{a}$ | 80.03±0.43$^{c}$ |
| 0.2 | −4.64±3.83$^{ab}$ | 0.98±0.11$^{a}$ | 0.50±0.15$^{a}$ | 138.68±6.76$^{a}$ | 0.23±0.02$^{a}$ | 79.64±3.97$^{c}$ |
| 0.4 | −2.92±1.92$^{a}$ | 0.74±0.09$^{c}$ | 0.53±0.04$^{a}$ | 136.10±16.70$^{a}$ | 0.22±0.04$^{a}$ | 82.75±1.15$^{bc}$ |
| 0.6 | −3.36±1.68$^{a}$ | 0.82±0.20$^{bc}$ | 0.49±0.07$^{a}$ | 130.05±8.38$^{a}$ | 0.20±0.03$^{a}$ | 84.05±0.16$^{ab}$ |
| 0.8 | −7.29±4.72$^{b}$ | 0.90±0.28$^{abc}$ | 0.53±0.12$^{a}$ | 131.79±10.32$^{a}$ | 0.22±0.11$^{a}$ | 86.93±1.28$^{a}$ |
| 1.0 | −6.26±3.53$^{b}$ | 0.89±0.22$^{abc}$ | 0.49±0.04$^{a}$ | 132.27±13.45$^{a}$ | 0.19±0.04$^{a}$ | 81.24±0.32$^{bc}$ |

注:同列不同字母表示差异显著($P$<0.05)。

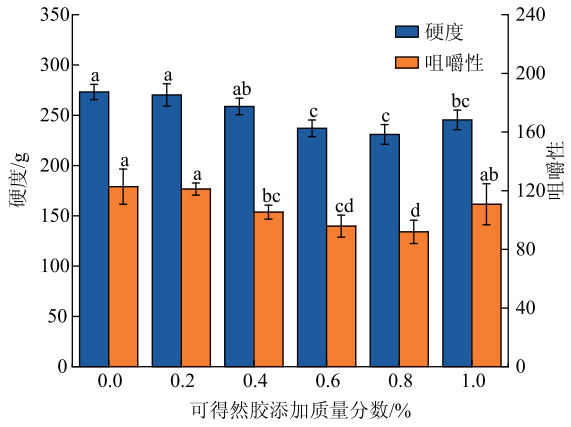



图 1　可得然胶对凉皮硬度和咀嚼性的影响

Fig. 1　Effect of curdlan on hardness and chewiness of Liangpi

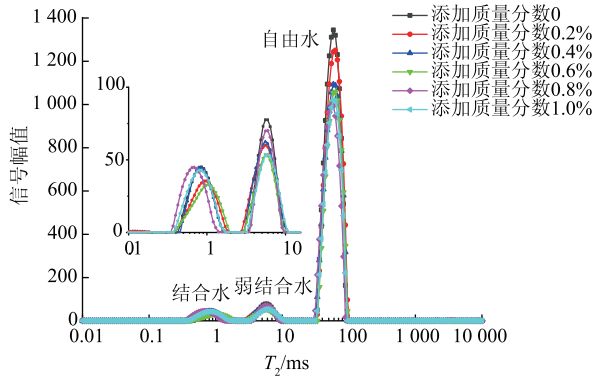



图 2　可得然胶对凉皮水分分布的影响

Fig. 2　Effect of curdlan on moisture distribution of Liangpi

分的结合程度[19]。添加不同质量分数可得然胶的凉皮于 4 ℃储存 3 d,其水分迁移变化见图 2。谱图中出现了 3 个波峰代表不同状态的水,波峰位置从左到右分别对应结合水($T_{21}$)、弱结合水($T_{22}$)、自由水($T_{23}$)[20]。$T_2$ 值越小表明样品与水分子结合的越紧密。与对照相比,添加可得然胶使体系的 $T_{21}$ 和 $T_{22}$ 略有减小,表明样品与水分子之间的结合略有增强;$T_{23}$ 在可得然胶添加质量分数大于 0.4%时减小,表明样品的持水能力增强。$T_2$ 的变化说明,与淀粉相比,可得然胶的持水能力较强。

$T_2$ 值越小表明水分子的流动性越差,样品与水分子结合的更紧密,说明可得然胶使凉皮内部的持水性增强。弛豫面积可以反映质子信号幅度的大小,即不同状态水分子的相对含量与对应峰面积的比例成正比。对弛豫谱图进行积分,可以得到各个峰的峰面积比例的变化。表 2 中 $A_{21}$、$A_{22}$、$A_{23}$ 分别表示结合水、弱结合水和自由水的峰面积占比。添加可得然胶的凉皮 $A_{21}$、$A_{22}$ 的值都高于空白组,$A_{23}$ 的值低于空白组。这种现象表明,添加可得然胶的样品其强结合水和弱结合水的质量分数增加,自由水质量分数降低,表明可得然胶增强了淀粉凝胶体系的保水性,减少了体系的脱水收缩,限制了淀粉回

表 2　可得然胶对回生凉皮弛豫时间的影响

Table 2　Effect of curdlan on relaxation time of Liangpi

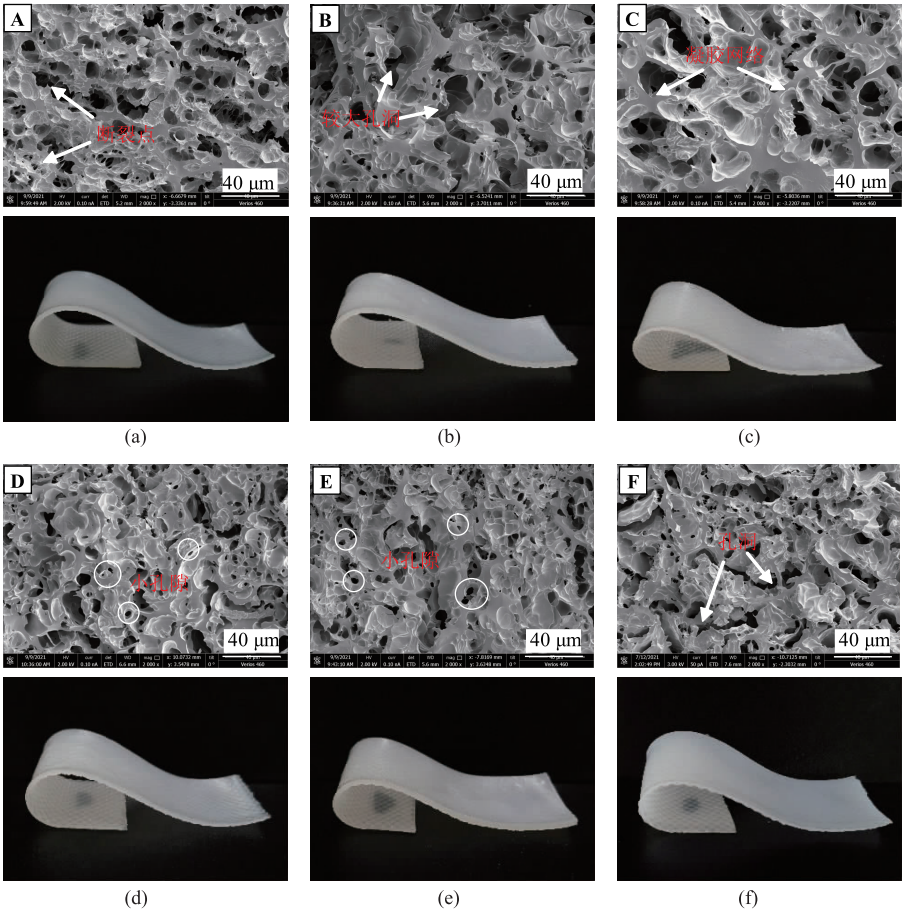
| 添加质量分数/% | $T_{21}$ | $T_{22}$ | $T_{23}$ | $A_{21}$ | $A_{22}$ | $A_{23}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.69 | 5.55 | 58.69 | 4.23 | 4.33 | 91.42 |
| 0.2 | 0.68 | 5.42 | 58.69 | 4.34 | 4.34 | 91.32 |
| 0.4 | 0.68 | 5.46 | 54.44 | 4.60 | 4.49 | 90.91 |
| 0.6 | 0.68 | 5.45 | 54.44 | 4.64 | 4.58 | 90.78 |
| 0.8 | 0.67 | 5.38 | 54.44 | 4.66 | 4.59 | 90.75 |
| 1.0 | 0.66 | 5.38 | 54.44 | 4.74 | 4.89 | 90.37 |

生体系的重排,对凉皮的回生具有抑制作用[21]。

### 2.3 可得然胶对凉皮形貌及微观结构的影响

将添加不同可得然胶的凉皮切割成相同大小(3 cm×10 cm)置于桌面观察其形貌图,见图 3。4 ℃冷藏3 d 后,由于淀粉回生使得凉皮硬度增大,导致凉皮的折叠处弯曲成较大的弧度。当可得然胶添加质量分数增加到 0.4%~1.0%时,凉皮折叠处弯曲的弧度较空白对照组小,表明添加 0.4%以上的可得然胶降低了在 4 ℃冷藏 3 d 回生凉皮的硬度。

对添加不同质量分数可得然胶的凉皮的微观结构进行观察,结果见图 3。未添加可得然胶的回生凉皮截面呈现多孔的网络状结构(A),且凉皮内部结构较为疏松多孔,网络状连接处减弱甚至出现断裂而呈现出现很多的刺突状的断裂点和塌陷的孔洞[22]。当添加质量分数为 0.2%时,凉皮内部的孔洞变大,可能的原因是该添加量下的可得然胶增强了淀粉的吸水作用,同时该吸水作用大于促进凝胶网络的形成作用,导致形成的淀粉凝胶网络含水量增大,水分在样品冻干过程中挥发从而形成更大的孔洞。添加质量分数为 0.4%的凉皮内部孔洞较对照组少,内部的网状结构变得致密紧实,说明可得然胶添加质量分数为 0.4%时,能够促进淀粉凝胶结构的形成[23],这也与低场核磁的研究结果一致。当添加质量分数增加到 0.6%和 0.8%时, 凉皮样品内部孔隙明显减小,结构变得更为致密,分析原因可能是可得然胶填充了淀粉分子间的网络孔隙使凉皮内部网络结构均匀致密。添加质量分数达到 1.0%时,凉皮内部结构粗糙,出现条状的裂缝。综上所述,与对照组相比,添加了质量分数可得然胶 0.6%~0.8%的凉皮其内部凝胶结构更为致密。




a.未添加可得然胶的凉皮及其微观结构;b、c、d、e、f 分别为添加质量分数 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%和 1.0%可得然胶的凉皮。

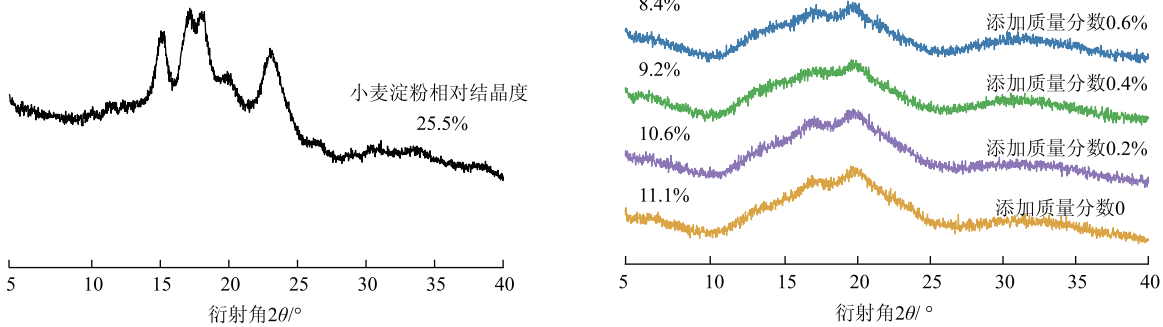
**图 3 可得然胶对凉皮形貌的影响**

**Fig. 3 Effect of curdlan on microstructure of Liangpi**

### 2.4 可得然胶对凉皮结晶性质的影响

通过 X 射线衍射仪测定淀粉结晶区的长程有序结构能够判断淀粉回生的程度[24]。添加可得然胶的凉皮 X 射线衍射图见图 4。当特征峰出现在 2$\theta$ 为 15°、17°、18°和 23°为典型的 A 型结晶，一般是谷物淀粉晶型[25-26]，小麦淀粉的衍射峰就是典型的 A 型结晶衍射峰，见图 4(a)。B 型结晶在 2$\theta$ 为 5.6°、17°、22°、24°处出现特征峰，V 型结晶在 2$\theta$ 为 7.4°、13°和 20°处有衍射峰[27-28]。

图 4(b)中 17°出现的峰为 B 型结晶衍射峰，20°处的峰是典型的 V 型结晶衍射峰。B 型结晶的出现是由于天然小麦淀粉在糊化时结晶结构被破坏，体系内分子聚集形态发生变化，主要是支链淀粉回生形成更稳定的 B 型结晶模式。V 型结晶的产生与直链淀粉–脂质复合物的存在有关。衍射峰的强度越大表明淀粉的结晶度越高。随着可得然胶添加量的增加，衍射峰的强度逐渐变弱且淀粉的相对结晶度逐渐减小，当添加质量分数为 0.6%~1.0%时，其相对结晶度减小。这一结果表明，可得然胶对凉皮的回生具有抑制作用，可能的原因是可得然胶可以减弱支链淀粉分子间形成氢键的能力，抑制淀粉凝胶的重结晶从而延缓淀粉长期老化[29]。




(a) 小麦淀粉X射线衍射图　(b) 凉皮的X射线衍射图

**图 4　小麦淀粉、凉皮的 X 射线衍射图**

**Fig. 4　X ray diffraction patterns of wheat starch and Liangpi**

### 2.5 可得然胶对凉皮短程有序结构的影响

在添加可得然胶凉皮样品的红外光谱图中，3 400~3 200 cm$^{-1}$ 范围内的较宽吸收峰对应聚合物之间 O—H 基团的振动拉伸，这些 O—H 位于分子内氢键和相邻分子间氢键，拓宽了羟基峰的波数范围[30]。2 927 cm$^{-1}$ 处的强峰与 C—H 基团的拉伸振动有关，1 153 cm$^{-1}$ 处的频带对应 C—O 拉伸振动[31]。添加可得然胶的样品与空白相比，红外图谱中并未出现新的特征峰，表明可得然胶和淀粉分子之间发生相互作用并不会产生新的基团，主要通过氢键等非共价键形成凝胶网络[32]。

淀粉的红外光谱图中 1 047、1 022、995 cm$^{-1}$ 处对应的峰是淀粉的特征峰。1 047 cm$^{-1}$ 处的吸收峰与淀粉的有序结构有关，1 022 cm$^{-1}$ 对应淀粉的无定形结构，995 cm$^{-1}$ 处吸收峰与淀粉分子之间氢键的结构有关[33]。淀粉回生期间，直链淀粉和支链淀粉的短链通过氢键连接形成双螺旋结构，称为淀粉的短程有序结构。1 047 cm$^{-1}$ 与 1 022 cm$^{-1}$ 的吸光度之比，1 022 cm$^{-1}$ 与 995 cm$^{-1}$ 吸光度之比表征淀粉的短程有序度[34]。随着可得然胶添加量的增加，1 047 cm$^{-1}$/1 022 cm$^{-1}$ 的比值逐渐降低，1 022 cm$^{-1}$/995 cm$^{-1}$ 的比值逐渐增大，见表 3。表明淀粉的短程有序度降低，凉皮的回生程度降低。分析原因可能是可得然胶通过抑制淀粉分子的交联作用从而抑制了有序结构的形成，延缓了凉皮的回生。

### 2.6 可得然胶对凉皮热学性质的影响

添加可得然胶的凉皮回生 3 d 的 DSC 热分析结果见表 4。随着可得然胶添加质量分数的增加,表 4 中起始温度($T_o$)、峰值温度($T_p$)和终止温度($T_c$)值的变化均不显著,回生焓值 $\Delta H$ 逐渐减小。回生焓值($\Delta H$)表明回生淀粉在贮藏期间双螺旋结构形成的重结晶熔融所需的能量,与淀粉的回生程度呈正相关[35]。可得然胶的添加降低了凉皮的回生焓值,这是因为可得然胶具有持水性,提高了淀粉分子的浓度,抑制了分子链的迁移,延缓了淀粉的有序结晶[36]。Chen 等人研究表明[37],大米淀粉中添加可得然胶会降低淀粉链的流动性,进而延缓大米淀粉凝胶在储存期间的回生。

表 3 可得然胶对凉皮短程有序度的影响

Table 3 Effect of curdlan on short-range ordered parameters of Liangpi

| 添加质量分数/% | 1 047 $cm^{-1}$/1 022 $cm^{-1}$ | 1 022 $cm^{-1}$/995 $cm^{-1}$ |
|---|---|---|
| 0 | 1.038±0.011$^{a}$ | 0.977±0.010$^{b}$ |
| 0.2 | 1.031±0.010$^{ab}$ | 0.985±0.006$^{a}$ |
| 0.4 | 1.027±0.001$^{ab}$ | 0.985±0.003$^{a}$ |
| 0.6 | 1.020±0.003$^{ab}$ | 0.989±0.015$^{a}$ |
| 0.8 | 1.016±0.008$^{b}$ | 0.991±0.003$^{a}$ |
| 1.0 | 1.012±0.002$^{b}$ | 0.987±0.010$^{a}$ |

注:表中数值采用平均值±标准差;同列不同字母表示差异显著($P$<0.05)。

表 4 可得然胶对凉皮热学参数的影响

Table 4 Effect of curdlan on thermal characteristic parameters of Liangpi

| 添加质量分数/% | 起始温度 $T_o$/℃ | 峰值温度 $T_p$/℃ | 终止温度 $T_c$/℃ | 回生焓值 $\Delta H$/(J/g) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 47.32±0.61$^{a}$ | 54.68±0.01$^{a}$ | 64.01±0.79$^{a}$ | 5.20±0.08$^{a}$ |
| 0.2 | 47.58±0.42$^{a}$ | 54.69±0.13$^{a}$ | 63.55±1.25$^{a}$ | 5.06±0.55$^{a}$ |
| 0.4 | 47.26±1.23$^{a}$ | 54.71±0.44$^{a}$ | 63.44±2.08$^{a}$ | 4.56±0.19$^{b}$ |
| 0.6 | 47.77±0.12$^{a}$ | 54.73±0.11$^{a}$ | 63.48±0.57$^{a}$ | 4.54±0.17$^{b}$ |
| 0.8 | 47.87±0.73$^{a}$ | 54.76±0.57$^{a}$ | 63.01±0.41$^{a}$ | 4.33±0.19$^{b}$ |
| 1.0 | 47.89±0.12$^{a}$ | 54.73±0.06$^{a}$ | 63.54±0.31$^{a}$ | 4.47±0.02$^{b}$ |

注:表中数值采用平均值±标准差;同列不同字母表示差异显著($P$<0.05)。

## 3 结 语

探究了可得然胶对方便预制凉皮冷藏保存品质的影响。结果表明,随着可得然胶添加质量分数从0 增加至 1.0%,凉皮的硬度和咀嚼性均减小。凉皮体系内强结合水和弱结合水的含量增加,自由水含量降低,淀粉凝胶体系的保水性增强。添加可得然胶后微观结构由疏松变得致密。可得然胶通过限制淀粉分子的交联从而抑制淀粉有序结构的形成,减小了凉皮的短程有序度;并通过减弱支链淀粉分子间形成氢键的能力,抑制淀粉凝胶的重结晶从而延缓淀粉的长期回生,导致淀粉相对结晶度降低。当可得然胶添加质量分数为 0.8%时凉皮感官评分最高,硬度值比对照组低 15.5%,改善了凉皮冷藏期间的品质劣变。可得然胶在凉皮品质改良方面的应用具有较大潜力,为凉皮及其它淀粉质食品的品质改良提供可靠的理论依据。

## 参考文献:

[1] 林致通. 凉皮食用品质标准建立和方便凉皮生产技术研究[D]. 重庆:西南大学,2020.
[2] 冉娇. 传统擀面皮工艺条件优化及品质变化探讨[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
[3] 王思宇,刘海清,张芬淑,等. 物性修饰对方便面皮抗老化的影响[J]. 食品工业,2019,40(8):163-168.
[4] 张雷,张建新,李赛杰,等. 传统蒸面皮抗老化配方优化研究[J]. 农产品加工,2016,(11):28-32.
[5] 彭毅秦,肖猛,何江红,等. 板栗粉面皮工艺及品质研究[J]. 食品与发酵科技,2019,55(1):53-58.
[6] 李卫旗. 热凝胶多糖(Curdlan)生产工艺及其分子结构的研究[D]. 杭州:浙江大学,2004.
[7] JIANG S,ZHAO S,Jia X,et al. Thermal gelling properties and structural properties of myofibrillar protein including thermo-reversible and thermo-irreversible curdlan gels[J]. **Food Chemistry**,2020,311:126018.
[8] MARTINEZ C O,RUIZ S P,FENELON V C,et al. Characterization of curdlan produced by *Agrobacterium* sp. IFO 13140 cells immobilized in a loofa sponge matrix,and application of this biopolymer in the development of functional yogurt[J]. **Journal of the Science of Food & Agriculture**,2016,96(7):2410-2417.

[9] HAHM T S,KUEI C Y. Effect of curdlan and xanthan on the texture and moisture retention of cooked rice[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**,2015,39(6):3198-3206.
[10] OISHI Y,UDAGAWA H,SHINOZAKI Y,et al. Preparation of hypoallergenic wheat flour noodles and evaluation of their physical properties[J]. **Food Science and Technology Research**,2009,15(1):39-44.
[11] 李才明,陈荻,陆瑞琪,等. 可得然胶对米粉加工及食用品质的影响[J]. 食品科学,2021,42(16):23-28.
[12] 赵春波,李苗云,余小领,等. 可得然胶对低盐猪肉乳化肠保水率和质构特性的调控[J]. 食品与发酵工业,2021,47(11):126-131.
[13] OH S M,CHOI H D,CHOI H W,et al. Starch retrogradation in rice cake:influences of sucrose stearate and glycerol[J]. **Foods**,2020,9(12):17-37.
[14] 陆雨,刘成梅,罗舜菁,等. 可得然胶对方便米线性质的影响[J]. 南昌大学学报:理科版,2015,39(1):83-87.
[15] XIN Y,LEE J Y,KIM J,et al. Effect of curdlan on textural and cooking qualities of noodles made with tofu[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**,2018,42(8):e13661.
[16] 黄峻榕,伏佳静,蒲华寅,等. 凉皮(面皮)贮藏过程中的回生行为及其机理[J]. 陕西科技大学学报,2021,39(6):39-44,50.
[17] LIU Y F,CHEN J,WU J Y,et al. Modification of retrogradation property of rice starch by improved extrusion cooking technology[J]. **Carbohydrate Polymers**,2019,213:192-198.
[18] WU J,LI L,WU X,et al. Characterization of oat(*Avena nuda* L.) $\beta$-glucan cryogelation process by low-field NMR[J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**,2016,64(1):310-319.
[19] FAN Z. NMR spectroscopy of starch systems[J]. **Food Hydrocolloids**,2016,63:611-624.
[20] NIU M,XIONG L,ZHANG B,et al. Comparative study on protein polymerization in whole-wheat dough modified by transglutaminase and glucose oxidase[J]. **LWT-Food Science and Technology**,2018,90:323-330.
[21] 李妍,吴天昊,吴玉柱,等. 玉木耳多糖对玉米淀粉回生及消化特性的影响[J]. 中国食品学报,2021,21(8):78-90.
[22] ZHANG Y,CHEN C,CHEN Y,et al. Effect of rice protein on the water mobility,water migration and microstructure of rice starch during retrogradation[J]. **Food Hydrocolloids**,2019,91:136-142.
[23] 章乐乐,崔鑫儒,赵创谦,等. 青稞多糖对玉米淀粉糊化和流变特性的影响[J]. 食品与生物技术学报,2020,39(10):73-81.
[24] QIU S,YADAV M P,ZHU Q,et al. The addition of corn fiber gum improves the long-term stability and retrogradation properties of corn starch)[J]. **Journal of Cereal Science**,2017,76:92-98.
[25] BIAN L,CHUNG H J,Molecular structure and physicochemical properties of starch isolated from hydrothermally treated brown rice flour[J]. **Food Hydrocolloids**,2016,60(10):345-352.
[26] FU Z Q,WANG L J,Li D,et al. The effect of partial gelatinization of corn starch on its retrogradation[J]. **Carbohydrate Polymers**,2013,97(2):512-517.
[27] TAKAHASHI T,FUJITA N. Thermal and rheological characteristics of mutant rice starches with widespread variation of amylose content and amylopectin structure[J]. **Food Hydrocolloids**,2017,62:83-93.
[28] ZOBEL H F,YOUNG S N,Rocca L A. Starch gelatinization:an X-ray diffraction study[J]. **Cereal Chemistry**,1988,65(6):443-446.
[29] 常晓红,张蓓,郝明远,等. 聚葡萄糖对大米淀粉凝胶老化特性的影响[J]. 食品工业科技,2018,39(10):69-72.
[30] FRANKLIN M E E,PUSHPADASS H A,KUMAR B,et al. Physicochemical,thermal,pasting and microstructural characterization of commercial Curcuma angustifolia starch[J]. **Food hydrocolloids**,2017,67:27-36.
[31] SUN Y,WANG M,MA S,et al. Physicochemical characterization of rice,potato,and pea starches,each with different crystalline pattern,when incorporated with Konjac glucomannan[J]. **Food Hydrocolloids**,2020,101:105499.
[32] FENG T,YE R,ZHUANG H,et al. Thermal behavior and gelling interactions of *Mesona blumes* gum and rice starch mixture[J]. **Carbohydrate Polymers**,2012,90(1):667-674.
[33] SEVENOU O,HILL S E,FARHAT I A,et al. Organisation of the external region of the starch granule as determined by infrared spectroscopy[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**,2002,31(1-3):79-85.
[34] ZHOU D,MA Z,YIN X,et al. Structural characteristics and physicochemical properties of field pea starch modified by physical,enzymatic,and acid treatments[J]. **Food Hydrocolloids**,2019,93:386-394.
[35] 宋杨宇,童群义. 结冷胶对马铃薯淀粉回生特性的影响[J]. 食品工业科技,2017,38(16):55-59.
[36] 张晓宇,张丹丹,李荣芳,等. 皂荚糖胶对玉米淀粉老化性质的影响及体系的水分分布[J]. 食品科学,2021,42(12):31-36.
[37] CHEN T,FANG S,ZUO X,et al. Effect of curdlan and xanthan polysaccharides on the pasting,rheological and thermal properties of rice starch[J]. **Journal of Food Science and Technology**,2016,53(11):4076-4083.