

# 芡粉种类对甘薯粉丝品质的影响及机制探讨

赵晨阳<sup>1</sup>, 王阳<sup>1</sup>, 周芳<sup>1</sup>, 叶发银<sup>1</sup>, 赵国华<sup>1,2\*</sup>

1(西南大学 食品科学学院, 重庆, 400715) 2(重庆市甘薯工程技术研究中心, 重庆, 400715)

**摘 要** 该文研究 9 种常见淀粉的理化特性以及它们作为芡粉对甘薯粉团特性和粉丝质量的影响, 并对它们之间的相关关系进行分析。结果表明, 在 9 种芡用淀粉中, 用甘薯淀粉和木薯淀粉作为芡粉形成的甘薯淀粉粉团易漏粉成条; 同时生产出的甘薯粉丝具有较高的结晶度 (17.58% 和 14.28%) 和较好的烹煮、质构和感官特性。综合比较, 以甘薯淀粉和木薯淀粉为芡粉的甘薯粉丝质量最佳。芡粉直链淀粉含量越高, 最终黏度和回生值越高, 粉丝的弹性越低, 蒸煮损失率越小, 消费者接受度越高。因此, 该研究发现芡粉种类对甘薯粉丝的质量有重要影响, 为粉丝生产中选用合适的芡粉提供了理论支撑。

**关键词** 芡粉; 淀粉; 粉丝; 品质; 相关分析

粉丝(条)是亚洲地区尤其我国的传统食物之一, 是一种利用淀粉加工, 呈丝状或条状的非即食性食品<sup>[1]</sup>。目前, 我国年产粉丝(条)高达 40 万 t 左右, 并远销韩国、日本、美国等国家和地区。当前粉丝的生产工艺主要有挤压法、铺皮切割法和漏粉法 3 种, 其中漏粉法是最具有代表性的传统粉丝生产方法。漏粉法生产粉丝的关键环节之一是良好特性粉团的调制, 它决定着漏粉过程是否能顺利进行以及产品的均一性<sup>[2]</sup>。调制不当的粉团可能使粉丝粗细不均、漏粉过程不连续甚至完全无法进行<sup>[3]</sup>。漏粉法制备的淀粉粉团可以视为一个两相体系, 即芡糊构成的连续体系与主料生淀粉构成的分散体系<sup>[4]</sup>。在粉丝生产主料淀粉确定的情况下, 芡糊对粉团的特性具有决定性影响, 它在粉团调制过程中起着黏结剂的作用, 能够使芡糊、生淀粉和水充分混合, 形成均匀一致的粉团。芡糊的本质实际是特定淀粉糊化后形成的淀粉糊<sup>[5]</sup>, 其淀粉种类可与主料淀粉相同也可不同。甘薯粉丝以其特有的质地受到消费者的青睐, 但很少有关芡糊种类对甘薯粉丝品质影响的研究报道。为推动漏粉法甘薯粉丝的现代化生产, 选择使用合适的芡粉, 本文研究了 9 种淀粉作为芡糊原料对甘薯粉丝品质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

甘薯淀粉, 购自重庆金田农业集团有限公司; 木薯淀粉, 购自重庆市沁心食品有限公司; 马铃薯淀粉和小麦淀粉, 购自无锡市天之源食品有限公司; 豌豆淀粉, 购自成都杨天食品有限责任公司; 绿豆淀粉, 购自衡水福桥淀粉有限公司; 大米淀粉, 购自安徽省联河米业有限公司; 玉米淀粉, 购自重庆佳仙食品有限公司; 蜡质玉米, 淀粉购自山东福洋生物科技有限公司。这些淀粉中总淀粉、直链淀粉及支链淀粉含量见本课题组以前的研究<sup>[6]</sup>。

### 1.2 仪器与设备

快速黏度仪 (RVA-TecMaster), 瑞典波通仪器公司; 和面机 (HM740), 青岛汉尚电器有限公司; 混合实验仪 (Mixolab2), 法国 Chopin 公司; 核磁共振成像分析仪 (MesoMR-6), 上海纽迈电子科技有限公司; 冰箱 (BCD-239VC), 河南新飞电器集团有限公司; X 射线衍射仪 (X'Pert3 Powder10300), 荷兰帕纳特有限公司; 质构仪 (CT-3), 美国 Brookfield 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 粉丝的制备

粉丝制作的工艺流程为:

原料→加水 and 芡糊调粉团→漏粉→熟化定型→冷却理丝→低温老化→干燥→包装

其具体操作如下: 称取 10 g (干基) 芡糊用淀粉加一定量的水得到质量分数为 10% 的淀粉浆, 在强力搅拌下置于沸水浴中加热 2 min, 得到芡糊。将冷却至 40℃ 的芡糊加入 190 g (干基) 甘薯淀粉中并补充

第一作者: 硕士研究生 (赵国华教授为通讯作者, E-mail: zhaoguohua1971@163.com)。

基金项目: 国家自然科学基金 (31601401 和 31871837); 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项 (cstc2015shms-ztxx80006)

收稿日期: 2019-01-03, 改回日期: 2019-03-02

一定量的 40℃ 温水(使最终含水量为 48.5%)。搅拌均匀后,将其转移至和面机内充分搅拌 15 min,得到均匀一致的粉团<sup>[3]</sup>。将制备好的粉团转移至漏粉瓢内(孔径为 20 mm),轻轻拍打粉团,使其从漏粉瓢小孔漏出形成细丝状坠入沸水浴。在沸水中煮制 20 s 后捞出,于自来水中充分冷却。将冷却后的粉丝整理成束,置于晾干架上,用保鲜膜覆盖后放入 4℃ 冰箱中老化 12 h。老化后用手轻搓使黏接的粉丝分离后自然晾晒。当其含水量达到 10%~13% 时收获装入密封袋内,常温避光密封保存、备用<sup>[7]</sup>。

### 1.3.2 粉丝结晶度的测定

粉丝的结晶度采用广角 X 衍射仪来测定。将粉丝研磨成粉末状后过 200 目筛作为样品,测试条件为:温度 25℃,电压 40 kV,电流 40 kA,扫描速度 2°/min,衍射角 2θ 范围为 4~40°,步长 0.02°。测试结果用 Jade 5.0 软件进行处理分析,相对结晶度(%)按照结晶区面积/总面积×100 计算<sup>[8]</sup>。

### 1.3.3 粉丝烹煮品质的测定

参照 WANDEE 等的方法<sup>[9]</sup>,称取 10 g 粉丝(干基  $m$ ,g),每根长度约为 5 cm,放入盛有 200 mL 沸水的烧杯中,用电炉加热使水保持沸腾状态,烧杯上方加盖以防止水分的大量蒸发。煮制 10 min 后,捞出粉丝,置于滤网上用 40 mL 蒸馏水冲淋 20 s,沥干水分后称重( $m_1$ ,g),然后将粉丝置于 105℃ 烘箱中烘干至恒重( $m_2$ ,g),按公式(1)、(2)计算整株损失率和膨润度:

$$\text{计算烹煮损失率}/\% = \frac{m - m_2}{m} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{和膨润度}/\% = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (2)$$

### 1.3.4 粉丝质构特性的测定

按照洪雁等<sup>[10]</sup>的方法测定。取 30 根粉丝在沸水中煮制 10 min,捞出用冷水冲淋后置于滤网上沥干水分,粉丝表面残余的水分用吸水纸轻轻吸去,然后用保鲜膜覆盖防止水分的挥发。将煮制后的粉丝放置于测试台的中心位置,选用质构仪(CT-3)的 TPA 模式,测量参数为:形变目标值:45%,触发点负载:4 g,测试速度:1.00 mm/s,探头:TA 4-1000,循环 2 次,每个样品平行测定 6 次。测试后选择硬度、弹性、内聚性及咀嚼性对煮后粉丝的质构特性进行评价<sup>[11]</sup>。

### 1.3.5 粉丝感官特性的评定

粉丝感官特性评定参照 WEI 等的方法和评分标

准<sup>[12]</sup>,略作修改。评分小组由 12 名西南大学食品科学学院学生组成,其中男生 4 名,女生 8 名,年龄为 22~26 岁,他们都参加过食品感官评价课程的学习。感官评价员在评定前经过市售粉丝感官评定的培训,对评定方法和程序进行熟悉。

### 1.3.6 芡用淀粉糊化特性测定

参照 AACC 76-21.01 方法稍作修改<sup>[13]</sup>。测试中淀粉和蒸馏水的比例按照制备芡糊的比例进行。准确称取 25.20 g 蒸馏水、2.80 g 样品粉(干基)并转移到样品筒中,测试开始前通过搅拌桨搅动样品使其充分分散、混合。测试程序为:快速搅拌 10 s(960 r/min)使样品充分分散,样品在 50℃ 保温 1 min,然后在 3.42 min 内匀速加热到 95℃,当温度升至 95℃ 后保温 2.7 min,保温阶段结束后在 3.88 min 内匀速降温到 50℃,最后 50℃ 保温 2 min,测试阶段的搅拌速度为 160 r/min。

### 1.3.7 芡用淀粉膨胀力的测定

准确称取一定质量的淀粉( $m_0$ ,g),配制 50 mL 质量分数为 2% 的淀粉乳,在 45℃ 下加热搅拌 30 min,以 4 000 r/min 离心 20 min;倾去上清液,沉淀计重( $m$ ,g),按公式(3)计算:

$$\text{膨胀力}/\% = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (3)$$

### 1.3.8 粉团水分分布的测定

按照 1.3.1 中的方法制备粉团,利用低场核磁共振检测粉团的水分分布情况,采用 Carr-Purcell-Meiboom-Gill(CPMG)脉冲序列检测横向弛豫时间( $T_2$ )。精确称取 5.0 g 粉团,用聚四氟乙烯薄膜包裹后迅速放入核磁管中进行检测。核磁共振的检测条件参数为:主频  $S_F$ (MHz)=19,偏移频率  $O_1$ (Hz)=555 881.8,90°脉冲射频宽  $P_1$ (μs)=15,180°脉冲射频宽  $P_2$ (μs)=27,信号采样点数  $T_D$ =197 590,重复采集等待时间  $T_W$ (ms)=5 000,重复采集次数  $n$ =8,回波时间 NECH(ms)=8 000。扫描结束后采用反演软件拟合 CPMG 数据并获得对应的弛豫时间( $T_2$ ,ms)和其峰强度( $A_2$ )。

### 1.3.9 粉团漏粉各阶段的力学特性分析

采用混合实验仪(Mixolab)进行测定,旨在了解粉团在形成及加工成粉丝的过程中其物料力学性能的变化情况<sup>[14]</sup>。具体方法参考参照 Chopin + 标准测试法稍作改动。甘薯淀粉、芡糊以及温水的添加比例按照 1.3.1 粉团制作的方法进行(粉团总质量为 90 g)。转速为 80 r/min,温度的控制分为 3 个过程:(1)恒温阶

段,保持 40℃ 恒温搅拌 10 min;(2)升温阶段,5 min 内以 10 ℃/min 的速度升温到 90 ℃ 并保持 15 min;(3)降温阶段,5 min 内以 8 ℃/min 的速度降温到 50℃ 并保持 5 min,整个过程共计 40 min。

### 1.3.10 数据处理方法

所有样品均重复测定 3 次,结果以平均值  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )的形式表示,数据应用 SPSS 18.0 和 Origin 8.0 软件进行处理。其中,显著性分析采用 Duncan 检验,  $P < 0.05$  判定为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 芡粉种类对甘薯粉丝品质的影响

#### 2.1.1 芡粉种类对甘薯粉丝烹煮特性的影响

粉丝的烹煮品质主要包括膨润度和烹煮损失<sup>[15]</sup>。这两项指标是衡量粉丝食用品质的重要参数,尤其是烹煮损失,它反映的是粉丝在烹煮过程中结构保持完整性的程度。通常,烹煮损失越大,说明粉丝的质量越差,不耐煮,易糊汤,食之黏滞不滑顺<sup>[16]</sup>。由表 1 可知,蜡质玉米淀粉芡糊制备的粉丝其烹煮损失最大(6.24%);其次是木薯淀粉(4.27%)和大米淀粉(3.62%);剩余淀粉烹煮损失大小顺序是小麦淀粉、玉米淀粉、甘薯淀粉、豌豆淀粉、绿豆淀粉和马铃薯淀粉。他们中除小麦淀粉与马铃薯淀粉之间有显著差异外,其他差异都不显著。从膨润度来看,小麦淀粉最高,其次是豌豆淀粉、绿豆淀粉、大米淀粉、马铃薯淀粉、玉米淀粉,居于最后的是甘薯淀粉、蜡质玉米淀粉和木薯淀粉。

表 1 使用不同芡糊的甘薯粉丝的烹煮及质构特性

Table 1 Cooking and textural properties of sweet potato starch noodles with different binding pastes

芡用淀粉	烹煮特性			质构特性		
	烹煮损失/%	膨润度/%	硬度/g	弹性/mm	内聚性	咀嚼性/mJ
甘薯	1.69 $\pm$ 0.21 <sup>de</sup>	341.5 $\pm$ 16.3 <sup>bc</sup>	569 $\pm$ 120 <sup>cd</sup>	1.27 $\pm$ 0.15 <sup>ab</sup>	0.79 $\pm$ 0.16 <sup>ab</sup>	6.63 $\pm$ 1.14 <sup>bc</sup>
木薯	4.27 $\pm$ 0.37 <sup>b</sup>	336.0 $\pm$ 15.5 <sup>c</sup>	694 $\pm$ 138 <sup>ab</sup>	1.28 $\pm$ 0.10 <sup>ab</sup>	0.88 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	8.37 $\pm$ 1.37 <sup>a</sup>
马铃薯	1.28 $\pm$ 0.38 <sup>c</sup>	365.0 $\pm$ 13.3 <sup>abc</sup>	466 $\pm$ 99 <sup>de</sup>	1.18 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	0.75 $\pm$ 0.15 <sup>ab</sup>	4.50 $\pm$ 0.80 <sup>d</sup>
豌豆	1.79 $\pm$ 0.18 <sup>de</sup>	378.7 $\pm$ 4.8 <sup>ab</sup>	616 $\pm$ 135 <sup>bc</sup>	1.17 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	0.80 $\pm$ 0.12 <sup>ab</sup>	5.83 $\pm$ 1.21 <sup>cd</sup>
绿豆	1.42 $\pm$ 0.41 <sup>de</sup>	372.0 $\pm$ 5.1 <sup>abc</sup>	438 $\pm$ 91 <sup>c</sup>	1.25 $\pm$ 0.13 <sup>ab</sup>	0.87 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	4.45 $\pm$ 1.15 <sup>d</sup>
小麦	2.04 $\pm$ 0.11 <sup>d</sup>	388.6 $\pm$ 49.0 <sup>a</sup>	562 $\pm$ 122 <sup>cd</sup>	1.20 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	0.74 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	5.12 $\pm$ 0.96 <sup>cd</sup>
大米	3.62 $\pm$ 0.46 <sup>c</sup>	371.8 $\pm$ 15.1 <sup>abc</sup>	524 $\pm$ 117 <sup>cde</sup>	1.23 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	0.74 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>	6.16 $\pm$ 1.09 <sup>bc</sup>
玉米	1.94 $\pm$ 0.25 <sup>de</sup>	360.4 $\pm$ 11.2 <sup>abc</sup>	781 $\pm$ 99 <sup>a</sup>	1.23 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	0.68 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>	7.46 $\pm$ 1.39 <sup>ab</sup>
蜡质玉米	6.24 $\pm$ 0.59 <sup>a</sup>	340.5 $\pm$ 16.2 <sup>bc</sup>	623 $\pm$ 102 <sup>bc</sup>	1.37 $\pm$ 0.26 <sup>a</sup>	0.80 $\pm$ 0.15 <sup>ab</sup>	5.77 $\pm$ 0.81 <sup>cd</sup>

注:同列中带有不同上标小写字母的数据之间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

从质构的角度来看,烹煮后的粉丝应具有适宜的硬度,较高的弹性、内聚性和咀嚼性<sup>[17]</sup>。从弹性来看,蜡质玉米淀粉最高,这可能与其高的支链淀粉含量密切相关。弹性较差的为豌豆淀粉、马铃薯淀粉、小麦淀粉、大米淀粉和玉米淀粉。从内聚性来看,木

薯淀粉和绿豆淀粉最好,而玉米淀粉、大米淀粉和小麦淀粉最差。SINGH 等<sup>[18]</sup>的研究结果表明,粉丝的内聚性与直链淀粉有关,直链淀粉渗出越多,粉丝的内聚性越大。SINGH 等<sup>[19]</sup>也得到了同样的结论。从咀嚼性来看,木薯淀粉最佳,而绿豆淀粉和马铃薯淀粉最差。

#### 2.1.2 芡粉种类对甘薯粉丝感官质量的影响

使用不同芡粉的甘薯粉丝的感官质量评价结果见表 2。由表可知,利用不同芡糊制得的甘薯粉丝在色泽和风味上无显著差异,但它们在适口性、弹韧性、黏性以及总体可接受性上存在一定差异。具体来看,木薯淀粉和马铃薯淀粉的适口性最好,而绿豆淀粉的最差;豌豆淀粉表现出最佳的弹韧性,而小麦淀粉的弹韧性最差;木薯淀粉和马铃薯淀粉的黏性最高,而甘薯淀粉、豌豆淀粉、绿豆淀粉和玉米淀粉的黏性表现不佳。从总体可接受性来看,马铃薯淀粉和豌豆淀粉最高,但它们仅与蜡质玉米淀粉之间有显著差异。综合上述实验结果可以得出,在生产甘薯粉丝时以甘薯淀粉和木薯淀粉作为芡粉产品综合质量最佳。

表 2 使用不同芡糊的甘薯粉丝的感官评分

Table 2 Sensory scores of sweet potato starch noodles with different binding pastes

芡用淀粉	色泽	适口性	弹韧性	黏性	风味	可接受性
甘薯	7.93 $\pm$ 0.48 <sup>a</sup>	7.25 $\pm$ 1.37 <sup>ab</sup>	7.83 $\pm$ 0.91 <sup>ab</sup>	6.96 $\pm$ 0.27 <sup>c</sup>	7.34 $\pm$ 0.87 <sup>a</sup>	7.44 $\pm$ 1.00 <sup>ab</sup>
木薯	7.91 $\pm$ 0.69 <sup>a</sup>	7.93 $\pm$ 0.49 <sup>a</sup>	7.71 $\pm$ 0.86 <sup>ab</sup>	8.30 $\pm$ 0.61 <sup>a</sup>	7.29 $\pm$ 0.86 <sup>a</sup>	7.52 $\pm$ 1.02 <sup>ab</sup>
马铃薯	7.86 $\pm$ 0.34 <sup>a</sup>	6.80 $\pm$ 1.23 <sup>a</sup>	7.84 $\pm$ 0.97 <sup>ab</sup>	8.37 $\pm$ 0.55 <sup>a</sup>	7.46 $\pm$ 0.70 <sup>a</sup>	8.14 $\pm$ 0.92 <sup>a</sup>
豌豆	8.13 $\pm$ 0.69 <sup>a</sup>	8.03 $\pm$ 1.11 <sup>ab</sup>	8.15 $\pm$ 1.15 <sup>a</sup>	6.80 $\pm$ 0.31 <sup>c</sup>	7.90 $\pm$ 1.18 <sup>a</sup>	8.25 $\pm$ 1.10 <sup>a</sup>
绿豆	7.95 $\pm$ 0.96 <sup>a</sup>	6.30 $\pm$ 0.84 <sup>b</sup>	7.66 $\pm$ 1.26 <sup>ab</sup>	6.98 $\pm$ 1.11 <sup>c</sup>	7.64 $\pm$ 1.13 <sup>a</sup>	7.86 $\pm$ 1.15 <sup>ab</sup>
小麦	7.83 $\pm$ 0.73 <sup>a</sup>	7.18 $\pm$ 1.33 <sup>ab</sup>	6.80 $\pm$ 0.52 <sup>b</sup>	7.34 $\pm$ 0.30 <sup>bc</sup>	7.61 $\pm$ 0.86 <sup>a</sup>	7.85 $\pm$ 0.85 <sup>ab</sup>
大米	7.63 $\pm$ 1.27 <sup>a</sup>	7.40 $\pm$ 1.03 <sup>ab</sup>	7.40 $\pm$ 0.62 <sup>ab</sup>	7.24 $\pm$ 0.43 <sup>bc</sup>	7.36 $\pm$ 0.65 <sup>a</sup>	7.71 $\pm$ 0.84 <sup>ab</sup>
玉米	8.30 $\pm$ 0.46 <sup>a</sup>	7.44 $\pm$ 1.25 <sup>ab</sup>	7.39 $\pm$ 1.27 <sup>ab</sup>	6.97 $\pm$ 0.58 <sup>c</sup>	7.30 $\pm$ 1.37 <sup>a</sup>	7.89 $\pm$ 1.08 <sup>ab</sup>
蜡质玉米	7.61 $\pm$ 1.46 <sup>a</sup>	6.61 $\pm$ 1.35 <sup>ab</sup>	7.29 $\pm$ 1.09 <sup>ab</sup>	7.93 $\pm$ 0.15 <sup>ab</sup>	7.05 $\pm$ 0.73 <sup>a</sup>	6.96 $\pm$ 1.06 <sup>b</sup>

### 2.2 芡粉种类影响甘薯粉丝质量的机制探讨

#### 2.2.1 芡用淀粉的糊化特性

不同芡用淀粉的糊化特性参数见表 3。由表 3 可知,粮谷类淀粉具有较高的糊化温度,而薯类淀粉具有较低的糊化温度,这与 PENG 等<sup>[20]</sup>报道的结论一致。这可能与它们的淀粉粒的大小密切相关。一般粮谷类淀粉具有比薯类淀粉更小的淀粉粒粒径。在糊化过程中大颗粒淀粉在剪切时更容易破裂,所需能量少,因此糊化温度比小颗粒淀粉低。峰值黏度与崩解值在不同芡用淀粉间的变化趋势类似,马铃薯淀粉具有最大的峰值黏度和崩解值,而小麦淀粉具有最小的峰值黏度和崩解值。这些指标决定于淀粉粒的

大小和遇水膨胀的能力(膨胀力,见表4)。

表 3 不同芡用淀粉的糊化特性参数

Table 3 Pasting parameters of different starches as binging paste materials

淀粉来源	糊化温度/℃	峰值黏度/ (mPa·s)	崩解值/ (mPa·s)	最终黏度/ (mPa·s)	回生值/ (mPa·s)
甘薯	72.31±0.38 <sup>e</sup>	7 215±74 <sup>b</sup>	4 947±222 <sup>b</sup>	3 273±52 <sup>f</sup>	1 092±161 <sup>de</sup>
木薯	68.73±0.14 <sup>f</sup>	6 751±96 <sup>c</sup>	4 500±224 <sup>c</sup>	3 377±176 <sup>f</sup>	1 126±48 <sup>d</sup>
马铃薯	69.80±0.49 <sup>f</sup>	10 364±299 <sup>a</sup>	8 469±492 <sup>a</sup>	2 840±190 <sup>g</sup>	930±14 <sup>e</sup>
豌豆	72.07±0.38 <sup>e</sup>	4 345±46 <sup>c</sup>	1 566±344 <sup>c</sup>	6 000±73 <sup>a</sup>	3 220±92 <sup>a</sup>
绿豆	76.48±0.52 <sup>d</sup>	6 297±29 <sup>d</sup>	2 675±41 <sup>d</sup>	5 551±200 <sup>b</sup>	1 929±184 <sup>b</sup>
小麦	90.52±0.72 <sup>a</sup>	3 525±48 <sup>f</sup>	873±99 <sup>f</sup>	4 177±19 <sup>c</sup>	1 526±37 <sup>c</sup>
大米	83.97±0.78 <sup>b</sup>	3 498±42 <sup>f</sup>	1 394±68 <sup>c</sup>	3 578±77 <sup>c</sup>	1 475±41 <sup>c</sup>
玉米	78.05±0.52 <sup>c</sup>	3 492±31 <sup>f</sup>	931±30 <sup>f</sup>	3 779±30 <sup>d</sup>	1 218±58 <sup>d</sup>
蜡质玉米	75.78±1.86 <sup>d</sup>	3 701±29 <sup>f</sup>	2 304±36 <sup>d</sup>	1 894±26 <sup>b</sup>	496±36 <sup>f</sup>

表 4 9 种芡用淀粉的膨润度及不同芡糊甘薯粉团的低场核磁弛豫时间

Table 4 Swelling capacities of nine binder starches and T<sub>2</sub> relaxation time of sweet potato starch dough with different binging pastes

芡用淀粉	膨胀力/%	T <sub>21</sub> /ms	T <sub>22</sub> /ms	A <sub>21</sub>	A <sub>22</sub>
甘薯	2.56±0.14 <sup>bc</sup>	1.70±0.10 <sup>d</sup>	15.45±1.16 <sup>c</sup>	1 233±61 <sup>abc</sup>	4 363±275 <sup>a</sup>
木薯	2.73±0.22 <sup>b</sup>	1.75±0.00 <sup>cd</sup>	17.69±1.30 <sup>abc</sup>	1 309±61 <sup>a</sup>	4 574±229 <sup>a</sup>
马铃薯	3.84±0.66 <sup>a</sup>	1.83±0.15 <sup>bc</sup>	17.11±1.41 <sup>abc</sup>	1 274±40 <sup>ab</sup>	4 885±183 <sup>a</sup>
豌豆	2.83±0.16 <sup>b</sup>	2.01±0.00 <sup>a</sup>	18.74±0.00 <sup>a</sup>	1 250±37 <sup>ab</sup>	4 644±165 <sup>a</sup>
绿豆	2.20±0.06 <sup>c</sup>	2.01±0.00 <sup>a</sup>	18.74±0.00 <sup>a</sup>	1 144±2 <sup>d</sup>	4 616±45 <sup>a</sup>
小麦	2.62±0.04 <sup>bc</sup>	2.01±0.00 <sup>a</sup>	18.74±0.00 <sup>a</sup>	1 154±62 <sup>cd</sup>	4 553±209 <sup>a</sup>
大米	2.88±0.06 <sup>b</sup>	1.92±0.15 <sup>ab</sup>	17.92±1.41 <sup>ab</sup>	1 211±30 <sup>bed</sup>	4 435±113 <sup>a</sup>
玉米	2.75±0.20 <sup>b</sup>	1.75±0.00 <sup>cd</sup>	17.11±1.41 <sup>abc</sup>	1 209±23 <sup>bed</sup>	4 557±95 <sup>a</sup>
蜡质玉米	2.92±0.12 <sup>b</sup>	1.75±0.00 <sup>cd</sup>	16.30±0.00 <sup>bc</sup>	1 203±61 <sup>bed</sup>	4 392±176 <sup>a</sup>

马铃薯淀粉具有最大的淀粉粒直径和最高的膨润度;小麦淀粉的淀粉粒直径与大米淀粉相当,但其膨润度明显低于大米淀粉,这导致其具有最小的峰值黏度。最终黏度和回生值主要反映糊化后淀粉的老化特性和冷糊的流动性。由表 3 可知,豌豆淀粉最易老化,而蜡质玉米淀粉抗老化特性最好。这主要由淀粉中直链淀粉与支链淀粉的相对含量决定。直链淀粉含量越高,淀粉糊越容易老化;相反,支链淀粉含量越高,淀粉糊越不容易老化<sup>[21]</sup>。

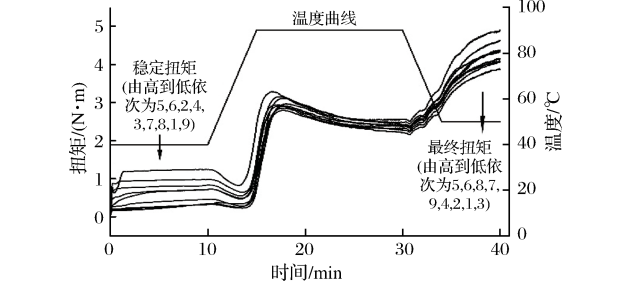
2.2.2 不同芡糊粉团的水分分布

在水分分布的低场核磁共振图谱中,弛豫时间与水的流动性成正比,而峰面积与水含量成正比<sup>[22]</sup>。试验发现,使用不同芡糊制作的粉团的低场核磁共振图谱非常类似,都在 2.0 ms 处有一个小峰和在 17.0 ms 处有一个大峰,且 2 个峰分离清晰。前者可归结为粉团中的结合水而后者则为粉团中的自由水<sup>[23-24]</sup>。经对比,所有粉团中自由水的含量(A<sub>22</sub>)没有显著差异,而其结合水的含量有一定的差异。3 种薯类淀粉与

豌豆淀粉具有最高的结合水含量,而 4 种粮谷类淀粉与绿豆淀粉具有较低的结合水含量。这个差异可能来自于芡用淀粉膨润性(吸水能力)的差异。但遗憾的是,9 种芡用淀粉的膨润性与它们制作出的粉团的结合水量之间并没有明显的相关关系。

2.2.3 不同芡糊粉丝的结晶度与粉团的力学特性

不同芡粉甘薯粉团的 Mixolab 混合实验仪测试图谱见图 1。



1 - 蜡质玉米淀粉; 2 - 玉米淀粉; 3 - 大米淀粉; 4 - 小麦淀粉; 5 - 绿豆淀粉; 6 - 豌豆淀粉; 7 - 马铃薯淀粉; 8 - 木薯淀粉; 9 - 甘薯淀粉  
图 1 不同芡糊甘薯粉丝粉团的 Mixolab 混合实验仪测试图谱

Fig. 1 Mixolab curves of sweet potato starch dough with different binding pastes

混合实验仪测试分为 5 个阶段,即在第 1 阶段(0 ~ 10 min)为恒温(40℃)恒速搅拌、主要反映粉团形成的过程及形成的粉团的力学特征。第 2(40℃→90℃升温)和第 3(90℃高温保持)阶段反映粉丝在漏刁沸水浴的变化情况;第 4(90℃→50℃降温)和第 5(50℃低温保持)阶段反映煮熟后的粉丝在自来水和室温冷却并放置的情况。由图 1 可以明显看出,用不同芡糊制作的生粉团(第 1 阶段)和冷却后的熟粉团(第 5 阶段)的力学性能有很大差异,而不同粉团在加热、高温保持及冷却过程中的差异不大。因此将生粉团(稳定扭矩)和熟化冷却粉团(最终扭矩)的力学特性和粉丝的结晶度总结如表 5。

表 5 不同芡糊甘薯粉团的力学特性及粉丝的结晶度  
Table 5 Mechanical property of sweet potato starch dough and the crystallinity of the resultant starch noodles with different binging pastes

芡糊种类	粉团稳定扭矩/(N·m)	粉团最终扭矩/(N·m)	粉丝结晶度/%
甘薯	0.33±0.01 <sup>f</sup>	4.09±0.12 <sup>abc</sup>	17.58±0.69 <sup>a</sup>
木薯	0.36±0.04 <sup>ef</sup>	4.16±0.31 <sup>abc</sup>	14.28±0.06 <sup>b</sup>
马铃薯	0.48±0.02 <sup>c</sup>	4.13±0.31 <sup>abc</sup>	13.75±0.92 <sup>bc</sup>
豌豆	0.98±0.08 <sup>b</sup>	4.63±0.04 <sup>ab</sup>	13.71±3.10 <sup>bc</sup>
绿豆	1.17±0.11 <sup>a</sup>	4.76±0.17 <sup>a</sup>	8.07±0.25 <sup>d</sup>
小麦	0.73±0.03 <sup>cd</sup>	4.07±0.11 <sup>abc</sup>	11.81±0.90 <sup>c</sup>
大米	0.66±0.09 <sup>d</sup>	3.69±0.55 <sup>c</sup>	12.91±0.99 <sup>bc</sup>
玉米	0.82±0.03 <sup>c</sup>	3.92±0.62 <sup>bc</sup>	13.06±0.26 <sup>bc</sup>
蜡质玉米	0.35±0.00 <sup>ef</sup>	3.88±0.08 <sup>bc</sup>	12.03±2.01 <sup>c</sup>

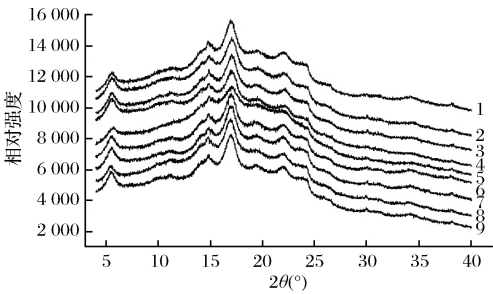
注:同列中带有不同上标小写字母的数据之间差异显著(P<0.05)。

由表 5 可以看出,2 种豆类淀粉和 3 种常规粮谷类淀粉的粉团具有较高的稳定扭矩,而 3 种薯类淀粉和蜡质玉米淀粉粉团的稳定扭矩较小。这说明,以甘薯淀粉、木薯淀粉和蜡质玉米淀粉作为芡粉形成的粉团具有更好的流动性<sup>[25-26]</sup>,便于漏粉。这与我们以前的研究结果相一致<sup>[6]</sup>,蜡质玉米淀粉、木薯淀粉和甘薯淀粉为芡粉的粉团具有最好漏过成型效果,成型过程断条频率最低(0.33~0.67 次/390 g 粉团);其次是以马铃薯淀粉和玉米淀粉为芡粉的粉团,成型过程断条频率中等(7.76~8.67 次/390 g 粉团);而以豌豆淀粉、大米淀粉、小麦淀粉和绿豆淀粉为芡粉的粉团成型断条频率最高(14.67~18.33 次/390 g 粉团)。就最终扭矩来看,以豌豆淀粉和绿豆淀粉为芡粉的粉团最高,这与它们在糊化特性测定中(表 3)具有最高的回生值完全一致。这反映出淀粉的老化特性对熟化冷却粉团的力学性能有重要影响<sup>[27]</sup>。但其他芡用淀粉的回生值与它们制成的熟化冷却粉团的最终扭矩之间并没有明确相关关系。这说明熟化粉团的力学性能不仅受芡粉老化特性的影响,还有其他未知因素。

2.2.4 不同芡糊甘薯粉丝的结晶度

由不同芡粉甘薯粉丝的 X 衍射图谱(图 2)可以清楚看到,所有粉丝在 5°、15°、17°和 23°附近有明显的衍射峰。其中 17°附近的峰最强,其后依次是 5°、15°和 23°附近的峰。经软件计算,9 种不同芡粉甘薯粉丝的

结晶度变化为 8.07%~17.58%。其中以甘薯淀粉为芡粉的粉丝结晶度最高(17.58%),而以绿豆淀粉为芡粉的粉丝结晶度最低(8.07%)。剩余样品中,除以木薯淀粉(14.28%)和小麦淀粉(11.81%)为芡粉的样品之间有显著差异外,其他都无明显差异,居于中间。由此来看,同质淀粉易于老化而结晶,而异质淀粉可能相互干扰而影响淀粉结晶<sup>[28]</sup>。其原因尚不清晰,但不同淀粉共混对淀粉产品性能的影响是当前研究的热点。



1 - 蜡质玉米淀粉;2 - 玉米淀粉;3 - 大米淀粉;  
4 - 小麦淀粉;5 - 绿豆淀粉;6 - 豌豆淀粉;7 - 马铃薯淀粉;  
8 - 木薯淀粉;9 - 甘薯淀粉

图 2 不同芡糊甘薯粉丝的 XRD 图谱

Fig. 2 XRD of sweet potato starch noodles

2.3 芡糊和粉团特性与粉丝品质之间的相关性分析

表 6 给出了粉丝质量与芡粉及粉团性质之间的相关分析结果。由表 6 可以看出,芡粉的组成对粉丝质量有重大影响。

表 6 粉丝质量与芡粉及粉团特性之间的 Pearson 相关系数

芡粉及粉团性质		粉丝质量指标					
		烹煮损失	膨润度	硬度	弹性	内聚力	咀嚼性
芡粉	总淀粉	0.070	-0.438	0.498	0.209	-0.019	0.205
	支链淀粉	0.834 **	-0.621	0.370	0.801 **	-0.169	0.361
	直链淀粉	-0.835 **	0.548	-0.281	-0.775 *	0.169	-0.329
	糊化温度	-0.006	0.625	-0.101	-0.175	-0.479	-0.257
	峰值黏度	-0.378	-0.272	-0.447	-0.186	0.303	-0.216
	崩解值	-0.198	-0.388	-0.372	-0.068	0.224	-0.151
	最终黏度	-0.596	0.638	-0.167	-0.597	0.212	-0.220
	回生值	-0.467	0.619	-0.102	-0.623	0.146	-0.177
	膨胀力	0.009	-0.032	-0.116	-0.251	-0.479	-0.257
粉团	稳定扭矩	-0.522	0.735 *	-0.206	-0.494	-0.003	-0.399
	最终扭矩	-0.492	0.284	-0.323	-0.296	0.592	-0.357
	A <sub>21</sub>	-0.287	0.203	-0.515	0.049	0.513	-0.449
	A <sub>22</sub>	-0.518	0.376	-0.258	-0.627	-0.016	-0.400
	粉丝结晶度	-0.023	-0.467	0.338	-0.031	-0.196	0.521

\* 表示相关显著(P<0.05);\*\* 表示相关极显著(P<0.01)。

总体来看, 芡粉支链淀粉含量越高, 粉丝的弹性越高, 烹煮损失率越大, 消费者接受性也越低; 相反, 芡粉直链淀粉含量越高, 粉丝的弹性越低, 烹煮损失率越小, 消费者接受性也越高。从这一点来看, 选择使用直链淀粉含量高的芡粉有利于提升甘薯粉丝的总体质量。就芡粉的糊化特性来看, 芡粉糊的最终黏度和回生值越高, 粉丝的接受性也越高。就粉团的特性来看, 稳定扭矩越大的粉团, 制作出的粉丝的膨润度越高, 而粉团自由水含量越高, 得到的粉丝的可接受性也越高。虽然粉丝的结晶度与其食用品质之间的相关都不显著, 但可以看出, 结晶度越高的粉丝, 其膨润度越低但咀嚼性越强。

### 3 结论

9 种芡用淀粉(甘薯淀粉、木薯淀粉、马铃薯淀粉、豌豆淀粉、绿豆淀粉、小麦淀粉、大米淀粉、玉米淀粉、蜡质玉米淀粉)的糊化特性有差异, 尤其它们的最终黏度和回生值差异明显。利用 9 种淀粉为芡粉(10%)制作出的甘薯淀粉粉团其稳定扭矩和最终扭矩有明显差异; 利用不同芡粉制作的粉团自由水含量无明显差异, 而结合水含量差异显著。9 种芡粉制作出的甘薯粉丝在烹煮特性、质构特性和感官评分上也有明显差异。以上这些差异表明, 芡粉对甘薯粉丝的质量有重要作用。相关分析发现, 芡粉直链淀粉含量越高, 最终黏度和回生值越高, 粉丝的弹性越低, 烹煮损失率越小, 消费者接受性越高。结合漏粉对粉团流动性的要求以及最终粉丝的品质评价, 用木薯淀粉和甘薯淀粉为芡粉制作甘薯粉丝较为适宜, 既能保证良好的粉团流动性, 又能获得质量较佳的粉丝。

### 参 考 文 献

- [1] 于智军, 杨君敏, 郭兰堂. 龙口粉丝生产工艺与配方[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [2] 朱丽娟, 刘淑贞, 谢月英, 等. 肾豆粉丝加工及粉丝特性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(6): 225-231.
- [3] 谭洪卓, 谷文英, 谢岩黎, 等. 甘薯淀粉粉团的流变行为研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(4): 76-80.
- [4] 谭洪卓. 甘薯淀粉流变学、热力学特性和分子结构研究及其在粉丝生产中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- [5] CHANSRI R, PUTTANLEK C, RUNGSADTHOGY V, et al. Characteristics of clear noodles prepared from edible canna starches [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(5): S337-S342.
- [6] WANG Yang, YE Fayin, LIU Jia, et al. Rheological nature and dropping performance of sweet potato starch dough as influenced by the binder pastes [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 85: 39-50.
- [7] TAN Hong zhuo, LI Zai gui, TAN Bin. Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving [J]. Food Research International, 2009, 42(5-6): 551-576.
- [8] NARA S, KOMIYA T. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch [J]. Starch - Stärke, 1983, 35(12): 407-410.
- [9] WANDEE Y, UTTAPAP D, PUNCHA-ARNON S, et al. Quality assessment of noodles made from blends of rice flour and canna starch [J]. Food Chemistry, 2015, 179: 85-93.
- [10] 洪雁, 顾正彪. 粉丝用淀粉的结构和性质研究[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(1): 28-32.
- [11] WU G Y, MORRIS C F, MURPHY K M. Quinoa starch characteristics and their correlations with the texture profile analysis (TPA) of cooked quinoa [J]. Journal of Food Science, 2017, 82(10): 2387-2395.
- [12] WEI Fubing, YE Fayin, LI Sheng, et al. Layer-by-layer coating of chitosan/pectin effectively improves the hydration capacity, water suspendability and tofu gel compatibility of okara powder [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 77: 465-473.
- [13] AACC (1999) Method 76-21.01. General pasting method for wheat or rye flour or starch using the rapid visco analyser[S]. In 'Approved methods of the American Association of Cereal Chemists'. 11th edn (AACC International: St. Paul, MN, USA).
- [14] JEONG S, KIM Y, KO S, et al. Physicochemical characterization and in-vitro digestibility of extruded rice noodles with different amylose contents based on rheological approaches [J]. Journal of Cereal Science, 2016, 71: 258-263.
- [15] WANG Dan, FAN Daichao, DING Miao, et al. Characteristics of different types of starch in starch noodles and their effect on eating quality [J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18(11): 2472-2486.
- [16] SANGPRING Y, FUKUOKA M, RATANASUMAWONG S. The effect of sodium chloride on microstructure, water migration, and texture of rice noodle [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 64(2): 1107-1113.
- [17] 范代超. 几种粉丝淀粉特性及其对食用品质的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [18] SINGH N, SINGH J, KAUR L, et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from differ-



- ent botanical sources [J]. Food Chemistry, 2003, 78: 183 – 192.
- [19] SINGH N, SINGH J, SODHI N S. Morphological, thermal, rheological and noodle-making properties of potato and corn starch [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 82(12): 1 376 – 1 383.
- [20] PENG Xinyun, YAO Yuan. Small-granule starches from sweet corn and cow cockle: Physical properties and amylopectin branching pattern [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 74: 349 – 357
- [21] 詹锦玲,王瑞,田耀旗. 高直链玉米淀粉配合体的抗消化特性与晶体结构[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(9): 64 – 67.
- [22] PENG B, LI Y, DING S, et al. Characterization of textural, rheological, thermal, microstructural, and water mobility in wheat flour dough and bread affected by trehalose [J]. Food Chemistry, 2017, 233(15): 369 – 377.
- [23] WANG Lei, YE Fayin, LI Sheng, et al, Guohua. Wheat flour enriched with oat beta-glucan: A study of hydration, rheological and fermentation properties of dough [J]. Journal of Cereal Science, 2017, 75: 143 – 150.
- [24] ROSELL C M, ALTAMIRANO-FORTOUL R, DON C, et al. Thermomechanically induced protein aggregation and starch structural changes in wheat flour dough [J]. Cereal Chemistry, 2013, 90(2): 89 – 100.
- [25] XIANG Zhuoya, YE Fayin, ZHOU Yun, et al. Performance and mechanism of an innovative humidity-controlled hot-air drying method for concentrated starch gels: A case of sweet potato starch noodles. Food Chemistry, 2018, 269: 193 – 201.
- [26] KOKSEL H, KAHRAMAN K, SANAL T, et al. Potential utilization of mixolab for quality evaluation of bread wheat genotypes [J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(5): 522 – 526.
- [27] LIAN Xijun, KANG Haiqi, SUN Haibo, et al. Identification of the main retrogradation-related properties of rice starch[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(5): 1 562 – 1 572.
- [28] FONSECA-FLORIDO H A, GÓMEZ-ALDAPA C A, LÓPEZ-ECHEVARRÍ G, et al. Effect of granular disorganization and the water content on the rheological properties of amaranth and achira starch blends[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 87: 280 – 286.

## Effects and mechanism of binding starch on the quality of sweet potato starch noodles

ZHAO Chenyang<sup>1</sup>, WANG Yang<sup>1</sup>, ZHOU Fang<sup>1</sup>, YE Fayin<sup>1</sup>, ZHAO Guohua<sup>1,2\*</sup>

1 (College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

2 (Chongqing Sweet Potato Engineering and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

**ABSTRACT** Binding starch is an essential ingredient for starch noodles production by dropping method. However, the effects of starch types on the quality of sweet potato starch noodles remain unknown. To this end, the quality parameters of sweet potato starch noodles with different binding starches were comparatively investigated. The physicochemical properties of 9 common starches as well as their effects as binders on the properties of sweet potato starch dough and noodles were determined, followed by their correlation analysis. Among all 9 starches, the sweet potato starch dough with sweet potato starch and cassava starch as binding agent presented good dropping properties and the resultant starch noodles displayed high crystallinity (17.58% and 14.28%) and satisfied cooking, textural and sensory properties. On the whole, the sweet potato starch noodles with sweet potato starch or cassava starch as binding agent was of the highest overall quality. More importantly, a higher level of amylose in binding starch was always in line with higher values in the final viscosity and setback of its paste, so that low resilience and cooking loss could be obtained for higher overall consumer acceptability. The present work declares that binding starch substantially affects the quality of sweet potato noodles, which provides a theory basis for the selection of binding starch for starch noodles industry.

**Key words** binder starch; starch; starch noodles; quality attribute; correlation analysis