

“湖湘特色谷物制品加工” 特约专栏文章之五

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.05.010

李意思, 谢岚, 祝红, 等. 破碎方式对绿豆理化性质的影响[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(5): 78-83.

LI Y S, XIE L, ZHU H, et al. Research on the effects of crushing mode on physical and chemical properties of mung beans[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(5): 78-83.

# 破碎方式对绿豆理化性质的影响

李意思<sup>1,2</sup>, 谢 岚<sup>1</sup>, 祝 红<sup>1</sup>, 刘艳兰<sup>1,2</sup>, 全 珂<sup>1</sup>, 罗可大<sup>2,3</sup>,  
管 骁<sup>4</sup>, 易翠平<sup>1,2</sup>✉

- (1. 长沙理工大学 化学与食品工程学院, 湖南 长沙 410114;
2. 湖南省杂粮健康食品工程技术研究中心, 湖南 长沙 410100;
3. 浏阳河集团股份有限公司, 湖南 长沙 410100;
4. 上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093)

**摘 要:** 研究干磨、湿磨和发酵湿磨三种破碎方式对绿豆粉理化性质的影响。结果表明: 发酵湿磨绿豆 (FWMB) 的组成成分变化最大, 蛋白质含量由 23.68% 降低到 21.02%, 淀粉含量由 56.97% 降低到 55.11%, 直链淀粉含量由 14.48% 增加到 19.72%。糊化特性和水合性质分析表明, 湿磨绿豆 (WMB) 和 FWMB 比干磨 (DMB) 具有更高的峰值粘度、最低粘度、衰减值和最终粘度, 且吸水指数和膨润力升高, 但水溶性指数降低。粒径分析发现, WMB、FWMB 与 DMB 的平均粒径分别为 105.21、92.94、120.13  $\mu\text{m}$ ; 电镜观察表明, WMB 和 FWMB 的超微结构相对完整, DMB 损伤最大; 损伤淀粉含量证实 WMB、FWMB 和 DMB 的损伤淀粉含量分别为 5.99%、6.07%、9.92%。说明湿磨和发酵湿磨通过降低绿豆损伤淀粉含量、减小平均粒径, 而提升糊化粘度和水合特性。

**关键词:** 绿豆; 破碎方式; 理化性质; 干磨; 湿磨; 发酵湿磨

中图分类号: TS214.9 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)05-0078-06

网络首发时间: 2021-08-25 10:01:29

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20210824.1502.028.html>

## Research on the Effects of Crushing Mode on Physical and Chemical Properties of Mung Beans

LI Yi-si<sup>1,2</sup>, XIE Lan<sup>1</sup>, ZHU Hong<sup>1</sup>, LIU Yan-lan<sup>1,2</sup>, QUAN Ke<sup>1</sup>,  
LUO Ke-da<sup>2,3</sup>, GUAN Xiao<sup>4</sup>, YI Cui-ping<sup>1,2</sup>✉

- (1. School of Chemistry and Food Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China; 2. Hunan Multi-grain Healthy Food Engineering Technology Research Center, Changsha, Hunan, 410100, China; 3. Liuyanghe Agricultural Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410100, China;
4. School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China)

**Abstract:** Effects of dry grinding, wet grinding and wet grinding after fermentation on the physicochemical

收稿日期: 2021-01-08

基金项目: 湖南省杂粮健康食品工程技术研究中心 (2019TP2008)

Supported by: Hunan Multi-grain Healthy Food Engineering Technology Research Center (No.2019TP2008)

作者简介: 李意思, 女, 1995 年出生, 硕士研究生, 研究方向为粮食深加工。E-mail: 1309184297@qq.com.

通讯作者: 易翠平, 女, 1973 年出生, 博士, 教授, 研究方向为粮食深加工。E-mail: 109823769@qq.com.

properties of mung bean were studied. The results indicated that the composition of wet ground mung bean after fermented flour (FWMB) changed the most, protein content decreased from 23.68% to 21.02%, the starch content decreased from 56.97% to 55.11%, and the amylose content increased from 14.48% to 19.72%. The analysis of pasting and hydration properties showed that wet ground mung bean flour (WMB) and FWMB had higher peak viscosity, minimum viscosity, attenuation value and final viscosity than dry ground mung bean flour (DMB), and water absorption index and swelling power were increased, but water solubility index was decreased. Particle size analysis found the average particle sizes of DMB, WMB and FWMB were 120.13, 105.21, 92.94  $\mu\text{m}$ , respectively; scanning electron microscope observation showed that the ultrastructure of WMB and FWMB was relatively intact, while DMB had the greatest damage; damaged starch content confirmed WMB, FWMB and DMB were 9.92%, 5.99% and 6.07%, respectively. It indicated that wet grinding and wet grinding after fermentation can improve the pasting viscosity and hydration properties by reducing the damaged starch content and average particle size of mung bean.

**Key words:** mung bean; crushing mode; physicochemical property; dry grinding; wet grinding; wet grinding after fermentation

绿豆是我国主要食用豆类之一, 具有清热解暑, 护肝等功效, 蛋白质含量在 20%以上, 氨基酸种类丰富, 总淀粉含量为 50%~60%且抗性淀粉含量较高。研究表明, 长期食用绿豆可预防肥胖、心血管、高血糖等现代慢性疾病<sup>[1]</sup>。但绿豆的组成和性质限制了其在食品加工中的应用, 如制作的绿豆面条蒸煮损失和断条率高, 面条口感不爽滑, 添加量低等<sup>[2]</sup>。因此改善绿豆粉的粉质特性是开发理想绿豆产品的重要途径。

通过不同粉碎方式改善绿豆粉的粉质特性是一种可行的加工策略, 不同粉碎方式对绿豆粉的理化性质影响不同, 从而影响其粉质特性。研究表明, 湿磨、发酵、湿热处理与酶改性等方法对改善杂粮粉(苦荞、玉米、高粱、燕麦等)粉质特性均有积极作用<sup>[3]</sup>, 其中湿磨可减小杂粮粉的粒径、降低损伤淀粉含量<sup>[4]</sup>, 发酵可减少杂粮中的抗营养因子, 且微生物的代谢产物如酶和有机酸等可以影响淀粉的糊化和质构特性<sup>[5]</sup>。但通过这些方式制备的绿豆粉的性质却尚未见研究报道。因此, 本实验拟以干磨绿豆为对照, 研究湿磨和发酵湿磨对绿豆粉理化性质的影响, 以期为绿豆产品的开发和研究提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

绿豆: 山西大同云州农夫合作社, 植物乳杆菌 YI-Y2013 (CCTCC No: M2017533): 实验室

自有; 其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

Triple TOF 5600 型扫描电子显微镜: FEG FE 公司; S3500 型激光粒度分析仪: Microtrac 公司; SY-12 型磨浆机: 浙江鲨鱼食品机械有限公司; FW100 型万能粉碎机: 天津市泰斯特仪器有限公司; Perten RVA 4500 型快速粘度仪: Newport scientific 公司; TG16 型离心机: 长沙东旺实验仪器有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品制备

干磨: 绿豆脱壳后用万能粉碎机磨粉, 过 80 目筛, 得到干磨绿豆粉 (DMB) 样品。

湿磨: 绿豆脱壳后 25  $^{\circ}\text{C}$  浸泡 12 h, 磨浆机磨浆, 浆液 50  $^{\circ}\text{C}$  烘干, 粉碎, 过 80 目筛, 得到湿磨绿豆粉 (WMB) 样品。

发酵湿磨: 绿豆脱壳后以料液比 1: 3 (g : g) 浸泡, 接种植物乳杆菌 YI-Y2013, 接种浓度为  $10^8$  CFU/mL, 37  $^{\circ}\text{C}$  发酵 48 h, 磨浆, 浆液于 50  $^{\circ}\text{C}$  烘干后破碎过 80 目筛, 得到发酵湿磨绿豆粉 (FWMB) 样品。

#### 1.3.2 基本成分测定

总淀粉: GB 5009. 9—2016; 蛋白质: GB 5009. 5—2016; 脂肪: GB 5009. 6—2016; 灰分: GB 5009. 4—2016; 直链淀粉: GB/T 15683—2008; 损伤淀粉 GB/T 9826—2008。

### 1.3.3 糊化特性测定

糊化特性参考 GB/T 24853—2010。

### 1.3.4 水合特性测定

参考 Yi 等<sup>[6]</sup>方法测定绿豆粉的水合特性。称取 1 g ( $m_0$ ) 绿豆粉加入 20 mL 的蒸馏水中, 搅拌均匀, 在 90 °C 的水浴中加热 10 min。冷却后 3 000 r/min 离心 10 min。取上清液于恒重铝盒 ( $m_1$ ) 中, 105 °C 干燥至恒重, 称重为  $m_2$ , 沉淀物质量为  $m_3$ 。吸水指数 (WAI)、水溶性指数 (WSI) 和膨润力 (SP) 按以下公式计算:

$$WAI = \frac{m_3}{m_0}$$

$$WSI = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100\%$$

$$SP = \frac{m_3}{m_0 \times (1 - WSI)}$$

式中:  $m_0$ —绿豆粉重量,  $m_1$ —铝盒重量,  $m_2$ —干上清和铝盒重量,  $m_3$ —沉淀物重量。

### 1.3.5 粒径分布测定

将少量绿豆粉缓慢加入到装满水的分散装置中, 激光粒度分析仪测定样品粒径, 分散剂水的折射率为 1.33, 颗粒的折射率和吸收率分别为 1.52 和 0.1<sup>[7]</sup>。

### 1.3.6 微观形态观察

将少量绿豆粉分散在双面导电胶上, 吹去多余的样品, 在真空条件喷金后, 置于扫描电镜样品台, 观察样品的微观结构。扫描电镜的工作电压为 100 V, 加速电压为 15 kV。

## 1.4 数据分析

实验数据重复 3 次, 取平均值, 采用 SPSS 20.0 软件对数据进行方差分析和显著性检验, 用 Origin 8 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本组成

破碎方式对绿豆基本成分的影响见表 1。结果表明, DMB 蛋白质含量最高, 而 FWMB 蛋白质含量最低。WMB 蛋白质的降低与浸泡过程中可溶性低分子蛋白溶入水中有关<sup>[8]</sup>。Amoura 等<sup>[9]</sup>采用湿磨工艺制备高粱粉时曾得到类似的结果。FWMB 蛋白质含量最低可能是因为微生物产生

表 1 破碎方式对绿豆粉基本成分的影响

Table 1 Effects of crushing mode on the basic components of mung bean flour %

类别	DMB	WMB	FWMB
蛋白质 (干基)	23.68±0.56 <sup>a</sup>	22.15±0.59 <sup>b</sup>	21.02±0.32 <sup>c</sup>
脂肪 (干基)	0.85±0.06 <sup>b</sup>	0.97±0.20 <sup>ab</sup>	1.04±0.09 <sup>a</sup>
淀粉 (干基)	56.97±1.19 <sup>a</sup>	56.82±0.56 <sup>a</sup>	55.11±0.48 <sup>b</sup>
灰分 (干基)	3.11±0.09 <sup>a</sup>	3.16±0.08 <sup>a</sup>	3.14±0.03 <sup>a</sup>
直链淀粉 (干基)	14.48±0.15 <sup>c</sup>	15.75±0.08 <sup>b</sup>	19.72±0.07 <sup>a</sup>
损伤淀粉 (干基)	9.92±0.03 <sup>a</sup>	5.99±0.04 <sup>b</sup>	6.07±0.06 <sup>b</sup>

注: 结果以平均值±标准偏差表示, 同行不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Results are expressed as mean ± standard deviation, and different letters in the same row indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ ).

的有机酸和酶类物质使蛋白质降解成小分子的肽或氨基酸溶于水及蛋白质作为微生物氮源被消耗所导致<sup>[10]</sup>。淀粉含量变化的趋势与蛋白质一致, WMB 淀粉含量的减少可能由易溶性低聚糖的损失造成, Fernandes 等<sup>[11]</sup>发现浸泡后的小扁豆和鹰嘴豆的总低聚糖最多损失了 50% 和 75%。FWMB 淀粉含量的减少可能与浸泡溶解损失和微生物的代谢消耗有关<sup>[11-12]</sup>。DMB、WMB 和 FWMB 的损伤淀粉含量分别为 9.92%、5.99% 和 6.07%。损伤淀粉由研磨过程淀粉粒的外被膜被破坏, 淀粉内部结构和外表形状受到损伤而产生<sup>[13]</sup>。传统干磨机械力和热作用对淀粉的破坏作用导致 DMB 具有较高的损伤淀粉<sup>[14]</sup>。WMB 直链淀粉含量增加可能是浸泡过程种子内部酶活性增强, 淀粉酶的水解使淀粉支度化降低并以直链淀粉的形式出现, 从而导致其含量增加<sup>[15-16]</sup>。而 FWMB 直链淀粉含量最高, 这可能与支链淀粉的降解有关, Andri 等<sup>[17]</sup>研究发现植物乳杆菌发酵淮山薯粉直链淀粉含量高于天然山薯粉, 推测产生变化的原因可能是支链淀粉侧链降解形成了新的直链淀粉。

### 2.2 粒径分布

破碎后, 绿豆粉的粒径分布如图 1 和表 2 所示。粒径图显示 DMB 粒径呈双峰分布, WMB 和 FWMB 呈多峰分布。表 2 显示 DMB、WMB 和 FWMB 的中位粒径 ( $D_{50}$ ) 分别为 63.72、45.18 和 26.35  $\mu\text{m}$ 。由于粉碎过程中机械力的不同, DMB 的  $D_{50}$  最大, 而 WMB 和 FWMB 的中位粒径较小, 这可能是由于绿豆浸泡后组织被软化, 磨浆时易破碎成较小的颗粒, 即使干燥后再经破碎其所需

能量小于干磨, 因而能达到更好的粉碎效果。Chiang 等<sup>[18]</sup>在浸泡对米粒及粉影响的研究当中发现, 浸泡时间的延长使米粒结构更加疏松, 制得的粉粒度更小。平均粒径  $D_{(4,3)}$  变化趋势与  $D_{50}$  一致, 这表明湿磨能够较大程度的降低绿豆粉的粒径。当累计体积达到 90% ( $D_{90}$ ) 时, WMB 当量直径最小, 这在一定程度上表明所制备的 WMB 颗粒分布更加均匀, 这可由粒度分布曲线所证实。

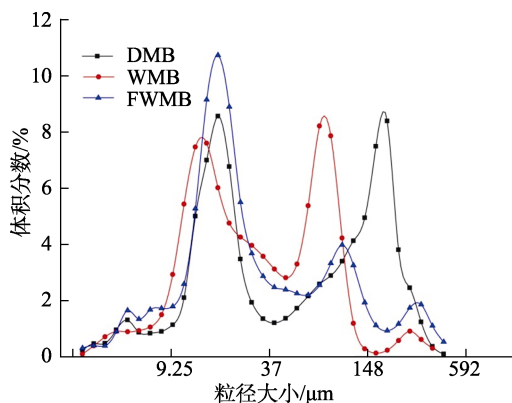


图 1 绿豆粉的粒径分布

Fig. 1 Particle size distribution of mung bean flour

表 2 绿豆粉的粒径分布

Table 2 Particle size distribution of mung bean flour  $\mu\text{m}$ 

样品	粒径分布			
	$D_{10}$	$D_{50}$	$D_{90}$	$D_{(4,3)}$
DMB	14.80±0.07 <sup>a</sup>	63.72±0.29 <sup>a</sup>	295.00±0.35 <sup>a</sup>	120.13±0.71 <sup>a</sup>
WMB	13.60±0.20 <sup>b</sup>	45.18±0.41 <sup>b</sup>	174.63±0.58 <sup>c</sup>	105.21±0.35 <sup>b</sup>
FWMB	10.07±0.82 <sup>c</sup>	26.35±0.66 <sup>c</sup>	208.43±0.81 <sup>b</sup>	92.94±0.42 <sup>c</sup>

注: 结果以平均值±标准偏差表示, 同列不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

$D_{10}$ : 颗粒累计分布为 10% 的粒径, 即小于此粒径的颗粒体积含量占全部颗粒的 10%;

$D_{50}$ : 颗粒粒径分布为 50% 的粒径, 即小于此粒径的颗粒体积含量占全部颗粒的 50%, 称为中位粒径;

$D_{90}$ : 颗粒粒径分布为 90% 的粒径, 即小于此粒径的颗粒体积含量占全部颗粒的 90%;

$D_{(4,3)}$ : 体积平均粒径。

Note: Results are expressed as mean ± standard deviation, and different letters in the same column indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ ).

$D_{10}$ : The portion of particles with diameters smaller than this value is 10%;

$D_{50}$ : The portion of particles with diameters smaller than this value is 50%;

$D_{90}$ : The portion of particles with diameters smaller than this value is 90%;

$D_{(4,3)}$ : Volume moment mean.

### 2.3 水合特性

破碎方式对绿豆粉水合特性的影响如表 3 所示。

表 3 破碎方式对绿豆粉水合特性的影响

Table 3 Effects of crushing mode on the hydration properties of mung bean flour

样品	水合特性		
	WAI/g/100 g	WSI/g/100 g	SP
DMB	6.05±0.31 <sup>b</sup>	23.98±0.30 <sup>a</sup>	7.97±0.40 <sup>b</sup>
WMB	8.29±0.49 <sup>a</sup>	10.57±0.09 <sup>b</sup>	9.16±0.55 <sup>a</sup>
FWMB	8.54±0.38 <sup>a</sup>	7.38±1.27 <sup>c</sup>	9.21±0.50 <sup>a</sup>

注: 结果以平均值±标准偏差表示, 同列不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Results are expressed as mean ± standard deviation, and different letters in the same column indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ ).

与 DMB 相比, WMB 和 FWMB 具有较高的 WAI, 而 WMB 和 FWMB 之间无显著差异。WAI 能够显示淀粉颗粒间键的结合强度, WAI 低则表明淀粉聚合物之间结合紧密<sup>[19]</sup>。同时粒径小的绿豆粉具有较高的 WAI, 这种能力主要与绿豆粉的比表面积相关<sup>[20]</sup>。WMB 和 FWMB 的 WAI 差异较小, 但两者水溶性指数具有显著差异, 这可能是淀粉的结构和功能特性受微生物代谢活动所影响<sup>[21]</sup>。在不同破碎方式的绿豆粉中, FWMB 表现出最高的 SP 和最低的 WSI, 而 DMB 则相反。WSI 和 SP 可用于评估无定形和结晶域内淀粉链之间的相互作用, 这种相互作用的程度与直链淀粉和支链淀粉的比例、直链淀粉和支链淀粉的分子量分布、支链淀粉的构象等密切相关<sup>[22]</sup>。而 DMB 较高的 WSI 则与损伤淀粉含量有关<sup>[13]</sup>。

### 2.4 糊化特性

表 4 表明, FWMB 具有最高的峰值粘度、最低粘度、衰减值和最终粘度, 回生值和峰值时间最低。峰值粘度为淀粉颗粒溶胀到最高程度时达到的最大粘度, WMB 和 FWMB 峰值粘度较高, 可能是因为湿磨和发酵湿磨均降低了绿豆粉的粒径, 使其易吸水膨胀, 且发酵通过产生酶和有机酸使淀粉、蛋白质和脂肪等聚合物降解, 淀粉颗粒充分暴露, 吸水膨胀, 因此峰值粘度增加<sup>[21]</sup>。WMB 和 FWMB 糊化温度降低, 且两者之间无显著差异。淀粉糊化本质上为水分子进入淀粉颗粒微晶束结构, 破坏淀粉分子间的缔合, 淀粉分子或其聚集物高度水化形成凝胶, 当绿豆粉的粒径较小时, 其易吸水, 膨胀和糊化, 因而会导致糊化温度相对较低<sup>[8]</sup>。另有文献报道, 支链淀粉含量较高或短链淀粉比例较低会引起淀粉糊化温度升高<sup>[24]</sup>, 这可能是 DMB 具有较高糊化温度的原因

表 4 破碎方式对绿豆粉糊化特性的影响  
Table 4 Effects of crushing mode on the pasting properties of mung bean flour

类别	DMB	WMB	FWMB
峰值粘度/cP	552±3 <sup>c</sup>	1846±2 <sup>b</sup>	2 366±15 <sup>a</sup>
最低粘度/cP	530±5 <sup>c</sup>	1619±1 <sup>b</sup>	1 725±2 <sup>a</sup>
衰减值/cP	22±2 <sup>c</sup>	227±1 <sup>b</sup>	641±13 <sup>a</sup>
最终粘度/cP	952±16 <sup>c</sup>	2507±47 <sup>b</sup>	2 651±42 <sup>a</sup>
回生值/cP	400±13 <sup>c</sup>	662±46 <sup>a</sup>	285±27 <sup>b</sup>
峰值时间/min	5.30±0.17 <sup>a</sup>	5.07±0.07 <sup>b</sup>	4.90±0.03 <sup>b</sup>
糊化温度/°C	80.25±0.4 <sup>a</sup>	77.55±0.8 <sup>b</sup>	78.43±0.76 <sup>b</sup>

注：结果以平均值±标准偏差表示，同行不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Results are expressed as mean ± standard deviation, and different letters in the same row indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ ).

之一。衰减反映绿豆粉的热糊稳定性，DMB 衰减最低，表明其热糊稳定性较好<sup>[7]</sup>。

### 2.5 微观结构

绿豆粉的微观结构如图 2 所示，绿豆淀粉呈

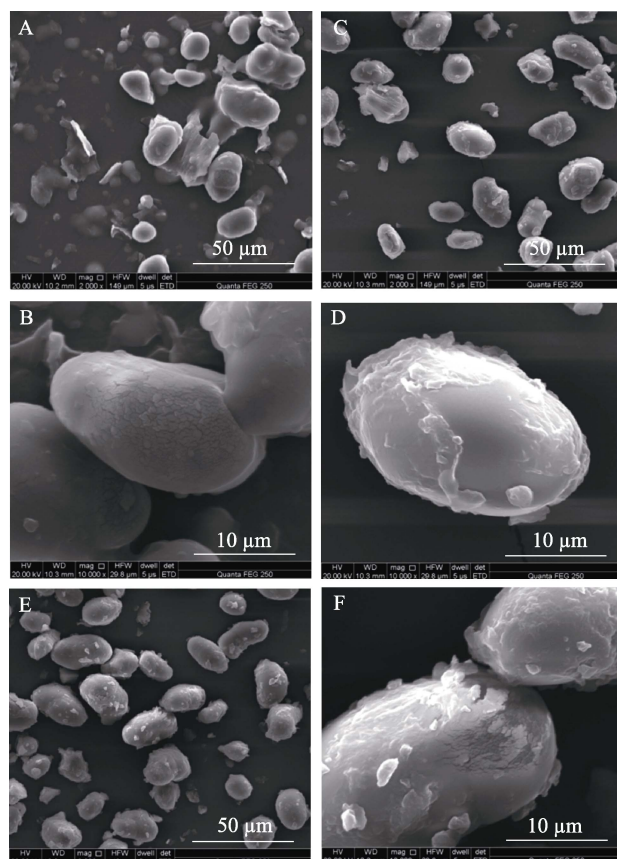


图 2 绿豆粉的微观结构

Fig.2 Microstructure of different pretreatment mung bean flour

注：A、B 为 DMB；C、D 为 WMB；E、F 为 FWMB；A、C、E 放大倍数×2 000，B、D、F 放大倍数×10 000。

Note: (A-B) DMB; (C-D) WMB; (E-F) FWMB; A, C and E have 2 000×magnification while B, D and F have 10 000× magnification.

椭圆形或圆形；损伤淀粉呈不规则形状且轮廓相对模糊。从 A、C 和 E 图可以看到，一些蛋白质体粘附在游离的淀粉颗粒上，WMB 和 FWMB 淀粉结构相对完整。干磨对淀粉的损伤十分明显 (B 图)，强机械力导致淀粉表面粗糙且出现裂纹。FWMB 淀粉表面的裂纹可能与微生物的作用或有机酸的腐蚀有关<sup>[25]</sup>。此外，观察到湿磨和发酵绿豆粉颗粒大小更加均匀，这和粒径的测量结果一致。

### 3 结论

本研究评估了三种破碎方式对绿豆粉理化性质的影响。结果表明，破碎方式对绿豆粉理化性质有显著影响。湿磨和发酵湿磨导致绿豆粉基本成分具有差异性，其中 FWMB 变化最为明显。与干磨相比，发酵和发酵湿磨都有效的降低了绿豆粉的平均粒径，提高了其吸水性和膨润力，且其水溶性降低，这有利于降低绿豆深加工产品比如绿豆面条的蒸煮损失。WMB 和 FWMB 结构相对完整，凝胶能力增强，这将有利于绿豆深加工产品黏弹、拉伸等质构的形成，改善绿豆粉的粉质特性。但本研究尚未对破碎“关键控制点”进行剖析，关于破碎方式对其性质的影响机制及适用范围也有待于进一步明确。

### 参考文献：

- [1] 汪周俊. 高含量绿豆挂面的研制及品质改良研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016: 1-3.  
WANG Z J. Development and quality improvement of mung bean noodle with high content[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2016: 1-3.
- [2] RANI S, SINGH R, KAMBLE D B, et al. Structural and quality evaluation of soy enriched functional noodles[J]. Food Bioscience, 2019, 32: 100465.
- [3] MENG Y J, GUAN X, LIU X L, et al. The rheology and microstructure of composite wheat dough enriched with extruded mung bean flour[J]. LWT-Food Science & Technology, 2019, 109: 378-386.
- [4] 张玉荣, 高佳敏, 周显青, 等. 谷物磨粉工艺对其淀粉损伤及特性影响研究进展[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(3): 135-140.  
ZHANG Y R, GAO J M, ZHOU X Q, et al. A review of effects of grain processing on starch damage and properties[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(3): 135-140.
- [5] DONG M S, RUI X, WU H, et al. Mung bean (*Vigna radiata*) as probiotic food through fermentation with *Lactobacillus plantarum* B1-6[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(1): 445-

- 451.
- [6] YI C P, ZHU H, BAO J S, et al. The texture of fresh rice noodles as affected by the physicochemical properties and starch fine structure of aged paddy [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 130: 109610.
- [7] 何财安, 张珍, 王丽静, 等. 磨粉方式对苦荞粉粉质特性及体外消化特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(5): 19-25+49.  
 HE C A, ZHANG Z, WANG L J, et al. Effect of different milling methods on characteristics and in vitro starch digestibility of tartary buckwheat flour. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(5): 19-25+49.
- [8] 于笛笛, 李焱焱, 袁艳秋, 等. 不同磨粉方法对荞麦面团流变学性质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2019, 34(1): 24-29.  
 YU D D, LI Y X, YUAN Y Q, et al. Effects of different milling methods on the rheological properties of buckwheat dough[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2019, 34(1): 24-29.
- [9] AMOURA H, MOKRANE H, NADJEMI B. Effect of wet and dry milling on the functional properties of whole sorghum grain flour and kafirin[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020, 57(3): 1-10.
- [10] 葛云飞, 康子悦, 沈蒙, 等. 自然发酵对高粱淀粉理化性质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(7): 51-57.  
 GE Y F, KANG Z Y, SHEN M, et al. Effect of natural fermentation on physical and chemical properties of sorghum starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(7): 51-57.
- [11] FERNANDES A C, NISHIDA W, PROENCA R P D C. Influence of soaking on the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cooked with or without the soaking water: a review[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2010, 45(11): 209-2218.
- [12] ONWURAFOR E U, ONWELUZO J C, EZEOKA A M. Effect of fermentation methods on chemical and microbial properties of mung bean (*Vigna radiata*) Flour[J]. *Nigerian Food Journal*, 2014, 32(1): 89-96.
- [13] 熊柳, 初丽君, 孙庆杰. 损伤淀粉含量对米粉理化性质的影响 [J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(3): 11-14.  
 XIONG L, CHU L J, SUN Q J. Effects of damaged starch content on physicochemical properties of rice flour[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2012, 27(3): 11-14.
- [14] 吴娜娜, 彭国泰, 谭斌, 等. 干法、半干法和湿法磨粉对糙米粉性质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(1): 137-142.  
 WU N N, PENG G T, TAN B, et al. Properties of brown rice flour prepared from dry, semi-dry and wet Milling[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(1): 137-142.
- [15] 刘静, 李贞, 刘海英. 浸泡和发芽处理对全籽粒燕麦中糖含量及淀粉体外消化性的影响[J]. *食品科技*, 2017, 42(1): 184-8.  
 LIU J, LI Z, LIU H Y. Effect of soaking and germination on carbohydrate content and in vitro starch digestibility in whole grain oat[J]. *Food Science and Technology*, 2017, 42(1): 184-188.
- [16] 田斌强, 邓乾春, 谢笔钧. 发芽燕麦淀粉的分子结构与体外消化性 [J]. *现代食品科技*, 2014, 30(6): 87-91.  
 TIAN B Q, DENG Q C, XIE B J. Molecular structure and in vitro Digestibility of Germinated Oat Starch[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(6): 87-91.
- [17] KUMORO A C, WIDIYANTI M, RATNAWATI R, et al. Nutritional and functional properties changes during facultative submerged fermentation of gadung (*dioscorea hispida* dennst) tuber flour using *Lactobacillus plantarum*[J]. *Heliyon*, 2020, 6(3): e03631.
- [18] CHIANG P Y, YEH A I. Effect of soaking on wet-milling of rice [J]. *Journal of Cereal Science*, 2002, 35(1): 85-94.
- [19] JOSHI M, TIMILSENA Y, ADHIKAR B. Global production, processing and utilization of lentil: a review[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(12): 2898-2913.
- [20] STYLIANI P, PANAGIOTA S, MARIANNA C, et al. Physical properties and sensory evaluation of bread containing micronized whole wheat flour[J]. *Food Chemistry*, 2020, 318: 126497.
- [21] 葛云飞, 康子悦, 沈蒙, 等. 高粱自然发酵对淀粉分子结构及老化性质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(18): 35-40.  
 GE Y F, KANG Z Y, SHEN M, et al. Effect of natural fermentation on molecular structure and retrogradation properties of sorghum starch[J]. *Food Science*, 2019, 40(18): 35-40.
- [22] LI W H, CAO F, FAN J, et al. Physically modified common buckwheat starch and their physicochemical and structural properties [J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 40: 237-244.
- [23] YU D D, CHEN J C, MA J, et al. Effects of different milling methods on physicochemical properties of common buckwheat flour[J]. *LWT - Food Science & Technology*, 2018, 92: 220-226.
- [24] LI Z G, ZHOU H, TAN B. Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving[J]. *Food Research International*, 2009, 42(5-6): 551-576.
- [25] ZHAO T, LI X P, ZHU R Z, et al. Effect of natural fermentation on the structure and physicochemical properties of wheat starch[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 218: 163-169. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。