

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.05.016

# 小麦麸皮淀粉的提取及其结构分析

李欣, 张洪微✉, 刘莹, 高菲, 唐彦君, 刘紫薇

(黑龙江八一农垦大学 食品学院, 黑龙江 大庆 163319)

**摘要:** 以小麦麸皮为原料, 分别采用碱性蛋白酶法和超声波辅助碱性蛋白酶法提取麸皮淀粉, 优化两种方法的提取条件, 并对麸皮淀粉的颗粒结构及分子结构进行了初步测定分析。结果表明, 碱性蛋白酶法最优提取条件为固液比 1 : 10 (g : mL), 酶用量 529.92 U/mL, 酶作用时间 50 min, 反应温度 45 °C, pH 12, 麸皮淀粉得率为 30.40%, 淀粉含量 59.24%, 小麦麸皮淀粉呈淡褐色粉末状。超声波辅助碱性蛋白酶法的最优条件: 固液比为 1 : 15 (g/mL), 超声功率为 200 W, 超声时间为 15 min, 麸皮淀粉得率为 21.06%, 淀粉含量为 90.64%, 麸皮淀粉呈白色粉末。超声波辅助碱性蛋白酶法提取麸皮淀粉的纯度及提取率均优于碱性蛋白酶法。经测定分析小麦麸皮淀粉中支/直比为 4.69, 破损淀粉含量 1.78%。淀粉麸皮颗粒呈椭球型, 平均粒径为 15.86 μm, 具有径向结晶结构, 为 A 型结晶。

**关键词:** 麸皮淀粉; 超声波; 酶法; 颗粒结构; 碱性蛋白酶; 径向结晶结构; A 型结晶

中图分类号: TS210.9 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)05-0111-06

网络首发时间: 2020-08-20 11:07:58

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20200819.1825.006.html>

## Extraction and Structure Analysis of Wheat Bran Starch

LI Xin, ZHANG Hong-wei✉, LIU Ying, GAO Fei, TANG Yan-jun, LIU Zi-wei

(College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

**Abstract:** Wheat bran was taken as raw material to extract bran starch by alkaline protease method and ultrasonic-assisted alkaline protease method respectively. After extraction conditions of the two methods were optimized, the granular structure and molecular structure of bran starch were analyzed. The results showed that the optimal extraction conditions by alkaline protease method were as follows: solid-liquid ratio 1 : 10 (g : mL), enzyme dosage 529.92 U/mL, enzyme reaction time 50 min, reaction temperature 45 °C and pH 12. The yield of starch was 30.40% and its content was 59.24%, while the powder was light brown; the optimal conditions by ultrasonic-assisted alkaline protease method were as follows: solid-liquid ratio 1 : 15 g/mL, ultrasonic power 150 W and ultrasonic time 15 min. The yield of bran starch was 21.06% and its content was 90.64%, while the powder was white. The purity and extraction rate of bran starch extracted by ultrasonic-assisted alkaline protease method were better than those by single alkaline protease method. Analysis results showed that branch/straight ratio of the wheat bran starch was 4.69 and broken starch content was 1.78%. The starch bran particles were ellipsoidal, with an average particle size of 15.86 μm and radial crystal structure of A-type.

**Key words:** bran starch; ultrasonic; enzymatic method; particle structure; alkaline protease; radial crystal structure; A-type

收稿日期: 2020-05-27

基金项目: 黑龙江省普通高等学校重点实验室开放课题基金项目 (HGW2017002); 黑龙江省农垦总局指导项目 (HKKYZD190704)

作者简介: 李欣, 女, 1995 年出生, 在读研究生, 研究方向为淀粉工业。Email: 245405397@qq.com.

通讯作者: 张洪微, 女, 1975 年出生, 副教授, 研究方向为农产品加工与研究。Email: fcwei\_2004@126.com.

小麦麸皮是小麦加工的主要副产物, 主要由小麦皮层和糊粉层组成, 在我国每年产量大概是 3 000 万 t 以上<sup>[1]</sup>。小麦麸皮口感粗糙苦涩, 难以食用, 且不易消化, 因此目前主要用于酿造和饲料<sup>[2-3]</sup>等加工行业。小麦麸皮中含有较丰富的碳水化合物、蛋白质、膳食纤维、维生素和矿物质等营养成分及多种功能性成分<sup>[4-6]</sup>, 其中淀粉含量约为 15%~20%<sup>[7]</sup>。有研究表明麸皮淀粉与小麦淀粉相比<sup>[8-9]</sup>, 具有结晶度高, 膨胀势较高, 糊化值高等特点<sup>[10-11]</sup>, 含较丰富的抗性淀粉<sup>[12]</sup>, 是一种优良的食用淀粉。

国内外常用的淀粉提取方法包括碱法<sup>[13]</sup>、酶法<sup>[14]</sup>和超声波辅助法<sup>[15]</sup>等。Lumdubwong 等<sup>[16]</sup>研究中发现, 碱法制备的淀粉吸湿性较强, 易于膨胀, 但其淀粉得率较低。小麦麸皮淀粉的提取与性质研究报道并不多见, 2010 年, 赵瑞昌<sup>[17]</sup>等采用中性蛋白酶法提取小麦麸皮淀粉, 淀粉得率为 14.86%; 邵媛媛<sup>[18]</sup>优化了稀碱和中性蛋白酶法提取小麦麸皮淀粉的工艺条件, 两种方法的淀粉得率分别为 12.00%和 14.55%, 酶法明显优于稀碱法, 但通过中性蛋白酶法制取的小麦淀粉颜色较暗, 纯度较低。虽然稀碱法得率较低, 但纯度较高。2017 年, 唐艳<sup>[19]</sup>等采用超声波辅助碱法提取小麦麸皮淀粉, 淀粉提取率为 90.97%, 说明超声波法有利于麸皮淀粉的提取。以上麸皮淀粉的提取方法可行, 但都有各自不足之处, 因此还需要进一步优化小麦麸皮淀粉的分离制备方法。本实验分别采用碱性蛋白酶法和超声波辅助碱性蛋白酶法对小麦麸皮淀粉进行提取, 以期在提高淀粉得率与纯度的同时改善麸皮淀粉的品质。

赵瑞昌<sup>[17]</sup>比较了面粉淀粉与小麦麸皮淀粉理化性质, 发现小麦麸皮淀粉中支/直链比为 3.48, 高于面粉淀粉, 而破损淀粉含量低于面粉淀粉。在邵媛媛<sup>[18]</sup>的研究中指出两种方法提取的麸皮淀粉在理化性质存在显著差异, 与赵瑞昌的研究结果也有不同, 这说明提取方法及淀粉纯度对淀粉性质都有一定的影响, 因此深入研究不同提取方法得到的小麦麸皮淀粉的颗粒结构与理化性质也是十分必要的。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

小麦麸皮: 北大荒丰缘麦业有限公司; 碱性蛋白酶: 北京奥博星生物科技有限公司; 硼酸、三氯乙酸、Folin 酚、无水乙酸钠、乌酸钠、等均为分析纯试剂。

### 1.2 实验设备

TD5A 离心机: 长沙英泰仪器有限公司; DGG-9140 电热恒温鼓风干燥箱: 上海森信实验仪器有限公司; THZ-82 水浴恒温振荡器: 江苏省荣华仪器制造有限公司; HS6150D 型超声仪: 恒奥科技有限公司; UV-2204 紫外可见分光光度计: 上海析谱有限公司; WMP-6105 偏光显微镜: 上海无陌光学仪器有限公司; RVA4500 快速黏度分析仪: 波通瑞华科学仪器(北京)有限公司; 多功能粉末 X 衍射仪: 荷兰帕纳科公司。

### 1.3 小麦麸皮淀粉提取实验

小麦麸皮粉碎, 过 80 目筛, 加入 0.1 mol/L 碳酸钠-碳酸氢钠的缓冲溶液, 搅拌均匀。按一定的超声条件进行超声处理(酶法提取时可省略此步骤), 将超声后的反应液中加入一定量的碱性蛋白酶(经测定酶活力为 24 636 U)反应后, 用双层纱布过滤, 取滤液静置沉淀。取沉淀加入蒸馏水, 2 000 rpm/min 离心分离 10 min, 轻轻刮除沉淀上层深色杂质, 反复离心, 直至沉淀全部呈白色。沉淀置于 45 °C 烘箱干燥, 得小麦麸皮淀粉备用。具体方法如下:

麸皮→粉碎→过筛(80 目)→缓冲液浸泡→(超声处理)→加入碱性蛋白酶→水浴震荡→过滤→离心分离(重复 3 次)→沉淀→干燥→过筛→麸皮淀粉→测定

### 1.4 小麦麸皮淀粉酶法提取实验

#### 1.4.1 碱性蛋白酶法

1.4.1.1 单因素实验 以固液比、酶用量、酶解时间、酶解温度和 pH 进行单因素实验, 实验设计见表 1。

1.4.1.2 正交实验 根据碱性蛋白酶法单因素实验结果设计正交实验。

表 1 碱性蛋白酶法单因素实验  
Table 1 Single factor experiment design

序号	固液比/ (g : mL)	酶用量/ (U/mL)	反应时间/ min	反应 温度/°C	pH 值
1	1 : 5	264.96	20	35	10.0
2	1 : 10	331.20	30	40	10.5
3	1 : 15	397.44	40	45	11.0
4	1 : 20	463.68	50	50	11.5
5	1 : 25	529.92	60	55	12.0

## 1.4.2 超声波辅助碱性蛋白酶法

1.4.2.1 单因素实验 先进行超声波处理, 再进行碱性蛋白酶酶解, 对超声条件进行优化, 碱性蛋白酶酶解条件采用 1.4.1 中实验所得最佳的酶解条件。单因素实验设计见表 2。

表 2 超声波碱性蛋白酶法单因素实验  
Table 2 Single factor experiment design

序号	固液比/(g : mL)	超声时间/min	超声功率/W
1	1 : 5	5	50
2	1 : 10	10	100
3	1 : 15	15	150
4	1 : 20	20	200

1.4.2.2 正交实验 根据单因素实验结果设计正交实验。

## 1.5 麸皮淀粉性质测定

### 1.5.1 小麦麸皮淀粉含量测定

1.5.1.1 淀粉 参照 GB/T5009.9—2008, 酸水解法。

1.5.1.2 支/直链淀粉 参照戴双<sup>[20]</sup>、姚新灵<sup>[21]</sup>等的研究稍作修改。

1.5.1.3 破损淀粉 参照 GB/T 9826—2008。

### 1.5.2 小麦麸皮淀粉颗粒结构测定

1.5.2.1 小麦麸皮淀粉粒径 采用激光粒径分析仪测定, 计算离散度。粒径分布的离散度公式为:

$$\text{离散度} = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}}$$

$D_n$ :  $n\%$ 的颗粒粒径小于该数值。

1.5.2.2 小麦麸皮淀粉颗粒微观结构 采用扫描电子显微镜测定, 本实验在加速电压为 10 kV, 放大倍率为 5 000 倍, 工作距离分别为 53.5  $\mu\text{m}$  和 53.7  $\mu\text{m}$  的条件下, 获取小麦麸淀粉的 SEM 图像。

1.5.2.3 小麦麸皮淀粉颗粒结晶结构 采用偏光显微镜观察小麦麸皮淀粉颗粒的偏光十字现象。X 衍射仪测定小麦麸淀粉的结晶结构, 测定条件为: 电压 40 kV, 电流 40 mA, 扫描速率 3 °/min, 扫描 2 $\theta$  范围 5~90°, 步长 0.02°, 每个样品扫描 30 min。

## 1.6 数据处理

所有实验数据每组重复 3 次, 采用 Excel 6.0 与 SPSS 26 进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦麸皮淀粉提取

#### 2.1.1 碱性蛋白酶法单因素实验

根据单因素实验结果见表 3。

根据单因素实验结果可知, 麸皮淀粉的提取量随反应 pH 值、反应温度、固液比的变化均呈先升高后下降的趋势。分别在 pH 11.5 时, 反应温度为 45 °C, 固液比为 1 : 10 (g : mL), 碱性蛋白酶作用 40 min, 酶用量达 463.68 U/mL 时, 麸皮淀粉提取量达最大值。这是因为适宜的酶解条件, 保证了酶的最大活力。

#### 2.1.2 碱性蛋白酶法正交实验

根据单因素实验结果发现固液比对麸皮淀粉提取量的影响变化不明显, 因此固液比确定为 1 : 10 (g : mL), 正交实验设计见表 4, 实验结果表 5。

经极差分析, 影响淀粉提取量的主次因素为  $A > B > C > D$ , 最优组合为  $A_3B_3C_2D_3$ , 即酶用量 529.92 U·mL<sup>-1</sup>, 酶作用时间为 50 min, 反应温度 45 °C, pH 12 为最好。

表 3 单因素实验麸皮淀粉提取量  
Table 3 Single factor test of extraction amount of bran starch

因素	麸皮淀粉提取量				
	1	2	3	4	5
pH	4.72±0.070	4.94±0.021	5.21±0.027	5.35±0.041	5.02±0.035
反应温度	3.72±0.024	4.74±0.035	4.92±0.015	4.81±0.029	4.97±0.012
固液比	4.91±0.011	5.11±0.035	5.00±0.034	4.98±0.040	4.87±0.020
反应时间	3.50±0.021	5.16±0.044	5.29±0.056	5.14±0.045	5.27±0.033
酶用量	5.16±0.027	5.23±0.026	5.40±0.042	5.50±0.037	5.45±0.026

表 4 正交实验因素水平表  
Table 4 Orthogonal test factor level table

水平	A 酶用量/(U/mL)	B 反应时间/min	C 温度/°C	D pH
1	397.44	30	40	11.0
2	463.68	40	45	11.5
3	529.92	50	50	12.0

表 5 正交实验结果表 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)  
Table 5 Orthogonal test results table L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)

序号	A	B	C	D	淀粉提取量/g
1	1	1	1	1	4.79
2	1	2	2	2	5.05
3	1	3	3	3	5.25
4	2	1	2	2	5.76
5	2	2	3	3	4.75
6	2	3	1	1	5.53
7	3	1	3	3	6.05
8	3	2	2	2	5.41
9	3	3	1	1	5.85
k <sub>1</sub>	5.03	5.53	5.24	5.24	
k <sub>2</sub>	5.35	5.07	5.55	5.22	
k <sub>3</sub>	5.77	5.54	5.35	5.35	
R	0.74	0.47	0.31	0.13	

验证实验结果见表 6, 在最佳酶解条件下, 麸皮淀粉的平均提取量为 6.08 g, 淀粉得率为 30.40%, 但淀粉含量为 59.24%, 说明所提麸皮淀粉的纯度较低, 这也是所得麸皮淀粉颜色偏暗黄色的主要原因。

表 6 碱性蛋白酶法提取麸皮淀粉验证实验结果  
Table 6 Validation test results of alkaline protease extraction of bran starch

实验组	1	2	3	平均值
淀粉提取量/g	6.06	6.11	6.08	6.08
淀粉含量/%	59.25	59.40	59.07	59.24

### 2.1.3 超声波碱性蛋白酶法单因素实验

取 10.00 g 小麦麸皮原料, 先超声作用后酶解, 超声波反应的单因素实验结果见表 7。由表 7 可知, 随缓冲液的增多, 小麦麸皮淀粉的提取量增多, 固液比在 1 : 10 (g : mL) 以后, 由于反应物浓度下降, 淀粉提取量开始降低。超声功率越大, 超声时间越长, 麸皮淀粉的提取效果越好, 因为超声波能够破坏细胞壁, 使溶剂更好穿透, 同时促进淀粉从蛋白质的网络结构中分离出来, 达到提高淀粉得率的目的。但延长时间和增大超

声功率都会使反应液温度升高, 导致淀粉出现糊化的现象, 不利于淀粉的提取。

表 7 超声波法单因素实验结果  
Table 7 Single factor test results of ultrasonic method g

因素	麸皮淀粉提取量			
	1	2	3	4
固液比	2.209±0.014	3.551±0.018	2.841±0.009	2.426±0.012
超声功率	2.068±0.009	2.557±0.013	3.454±0.010	2.934±0.015
超声时间	2.421±0.010	2.727±0.007	3.484±0.012	3.058±0.009

### 2.1.4 超声波碱性蛋白酶法正交实验结果与分析

根据单因素实验结果设计正交实验, 正交实验因素水平表见表 8, 实验结果见表 9。

经极差分析, 影响小麦麸皮淀粉提取量的主次因素为 A>B>C, 最优组合为 A<sub>3</sub>B<sub>3</sub>C<sub>2</sub>。即最优超声条件为固液比为 1 : 15 (g : mL), 超声功率为 200 W, 超声时间为 15 min 时的效果最佳。

表 8 正交实验因素水平表  
Table 8 Orthogonal test factor level table

水平	A 固液比/(g : mL)	B 超声功率/W	C 超声时间/min
	1	1 : 5	100
2	1 : 10	150	15
3	1 : 15	200	20

表 9 正交实验结果表 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)  
Table 9 Results of orthogonal experiments

实验序号	A	B	C	D (空列)	麸皮淀粉 提取量/g
1	1	1	1	1	1.925
2	1	2	2	2	2.005
3	1	3	3	3	2.001
4	2	1	2	3	2.019
5	2	2	3	1	1.808
6	2	3	1	2	2.004
7	3	1	3	2	2.049
8	3	2	1	3	2.011
9	3	3	2	1	2.021
k <sub>1</sub>	1.977	1.998	1.980	1.918	
k <sub>2</sub>	1.944	1.941	2.015	2.019	
k <sub>3</sub>	2.027	2.008	1.953	2.010	
R	0.083	0.067	0.062	0.038	

经验证实验可知, 麸皮淀粉的平均提取量为 2.106 g, 麸皮淀粉得率为 21.06%, 淀粉含量为 90.64%, 麸皮淀粉呈白色粉末。

表 10 验证实验结果表  
 Table 10 Verification experiment results table

实验组	1	2	3	平均值
淀粉提取量/g	2.091	2.088	2.140	2.106
淀粉含量/%	90.07	91.04	90.82	90.64

### 2.1.5 小麦麸皮淀粉提取方法研究

比较分析两种方法,碱性蛋白酶法提取麸皮淀粉的得率较高,但纯度较低,提取物中淀粉含量只有 59.24%,所得淀粉颜色偏淡褐色,也说明其中含有较多杂质。超声波辅助碱性蛋白酶法获得的麸皮淀粉得率为 21.06%,虽低于碱性蛋白酶法,但其淀粉含量达到 90.64%,说明其淀粉纯度高。经测定,小麦麸皮原料中淀粉含量为 19.87%,因此碱性蛋白酶法麸皮淀粉的提取率为 90.64%,而超声波辅助法的提取率为 96.06%,说明超声波辅助碱性蛋白酶法比碱性蛋白酶对麸皮淀粉的提取效率更高,所提取的麸皮淀粉质量也优于碱性蛋白酶法。

## 2.2 小麦麸皮淀粉测定

### 2.2.1 直链淀粉、支链淀粉及破损淀粉含量测定

小麦麸皮淀粉的支链淀粉含量明显高于直链淀粉,在赵瑞昌等的研究中<sup>[17]</sup>支/直比 3.48,略低于本实验,其破损淀粉含量为 1.78%,破损淀粉含量较低。破损淀粉的吸水率高,对  $\alpha$ -淀粉酶和  $\beta$ -淀粉酶的敏感性高,破损淀粉含量过高可能会导致面包烘烤时内部结构变得过于柔软和支撑力下降,出现倒塌,收缩等现象<sup>[22]</sup>。

表 11 麸皮淀粉组分及破损淀粉含量  
 Table 11 Bran starch components and broken starch content

样品	直链淀粉/%	支链淀粉/%	支/直链比	破损淀粉/%
小麦麸皮淀粉	17.57	82.43	4.69	1.78±0.002

### 2.2.2 小麦麸皮淀粉颗粒结构与粒径分布

经电镜分析(图 1),小麦麸皮淀粉颗粒形状具有椭球形和扁球形状态,颗粒结构呈现单粒,颗粒大小较均一,同时可见有少量小颗粒的圆球形淀粉,这与小麦淀粉一致<sup>[23]</sup>。

小麦麸皮淀粉 D90、D50、D10 值分别为 29.35、15.86、3.047,平均粒径为 15.86,离散度为 1.658。小麦麸皮淀粉中 D90、D50、D10 均小于小麦淀粉,离散度大于小麦淀粉<sup>[23]</sup>,则说明小

麦麸皮淀粉过大和过小的颗粒数较多,小麦麸皮淀粉的颗粒粒度分布范围较广。根据颗粒直径可分为 A 型(10~40  $\mu\text{m}$ )、B 型(1~10  $\mu\text{m}$ )和 C 型(<1  $\mu\text{m}$ )<sup>[24]</sup>,由此可初步判断小麦麸皮淀粉以 A 型为主,少量为 B 型。

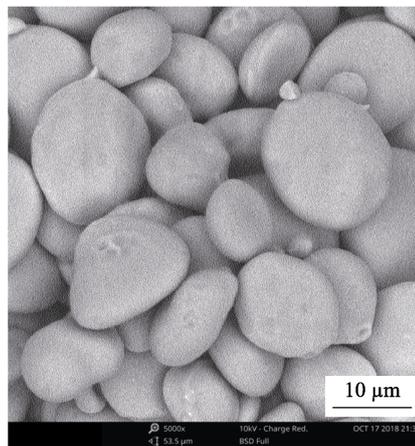


图 1 小麦麸皮淀粉扫描电子显微镜图像  
 Fig.1 Scanning electron microscope image of wheat bran starch

表 12 小麦麸皮淀粉粒径分布  
 Table 12 Wheat bran starch particle size distribution

样品	D90/ $\mu\text{m}$	D50/ $\mu\text{m}$	D10/ $\mu\text{m}$	离散度
小麦麸皮淀粉	29.35	15.86	3.047	1.658

### 2.2.3 小麦麸皮淀粉颗粒结晶结构测定

由图 2 可以看出小麦麸皮淀粉颗粒存在偏光十字现象,交点在颗粒的中心,呈十字交叉。说明麸皮淀粉具有径向结晶结构,与小麦淀粉相同<sup>[25]</sup>。

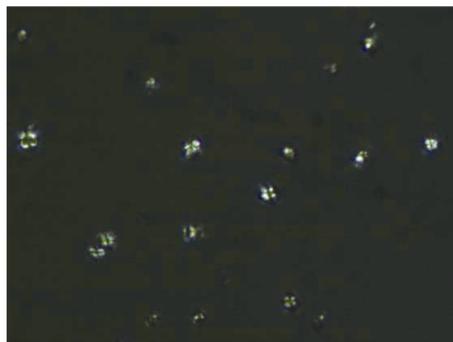


图 2 小麦麸皮淀粉偏光十字图像  
 Fig.2 Wheat bran starch polarized cross image

由图 3 可知,在衍射角为 18.04°和 23.08°时麸皮淀粉出现较强的衍射峰,此特征表现出麸皮淀粉为 A 型淀粉,与颗粒粒径判断相同,而小麦淀粉以 B 型淀粉为主<sup>[25]</sup>。

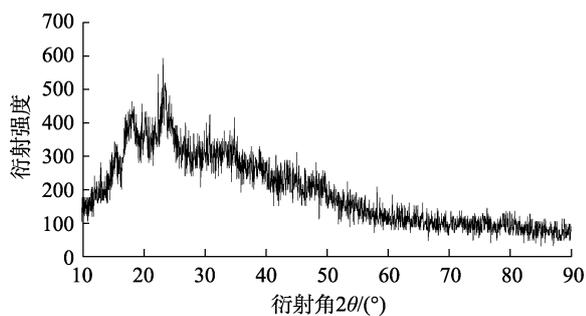


图 3 麸皮淀粉 X-衍射图

Fig.3 X-ray powder diffraction patterns of bran starch

### 3 结论

常用的淀粉提取方法也适用于小麦麸皮淀粉的提取，但超声波辅助碱性蛋白酶较单一的方法更有利于小麦麸皮淀粉的提取。通过电镜和偏光显微镜观察，首次明确了小麦麸皮淀粉颗粒的形状与结晶状态；麸皮淀粉粒径分布范围较广，其支/直比和破损淀粉含量均高于前人研究，X 衍射结果也表明麸皮淀粉为 A 型结晶。

深入研究分析小麦麸皮淀粉的结晶结构是掌握淀粉糊性质的关键，因此对小麦麸皮淀粉理化性质的研究和其结构与性质的相关性研究将是有待解决的重要问题。

#### 参考文献：

- [1] 李林轩, 李硕, 王晓芳, 等. 小麦麸皮理化特性与深加工技术探讨[J]. 粮食加工, 2019, 44(4): 20-23.
- [2] 郭娜. 小麦麸皮纤维降解糖化与分层利用[D]. 合肥工业大学, 2013.
- [3] 史建芳, 胡明丽. 小麦麸皮营养组分及利用现状[J]. 现代面粉工业, 2012, 26(2): 25-28.
- [4] AGNE K, GEDMINNAS P, AIDA B, et al. A sight to wheat bran: high value-added products[J]. Biomolecules, 2019, 9(12).
- [5] 张洪微, 杨铭铎, 樊祥富, 等. 3 种改性方法对小麦麸皮膳食纤维结构与性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(12): 12-17.
- [6] 任顺成, 王玮. 超微粉碎对小麦麸皮功能特性的影响研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(12): 36-41.
- [7] 李焕, 刘翀, 郑学玲. 商业小麦麸皮的营养与安全品质研究[J]. 食品科技, 2017, 42(4): 161-166.
- [8] 闫慧丽. 小麦淀粉结构、组成、改性对其理化性能及面条品

质的影响[J]. 现代面粉工业, 2019, 33(2): 55.

- [9] 杨月月. 小麦淀粉性质及其对面制品影响的研究进展[J]. 现代面粉工业, 2019, 33(2): 55.
- [10] 王小平. 小麦麸皮特征性质及应用研究[D]. 西华大学, 2017.
- [11] LIU Y, PERRY K W N G. Isolation and characterization of wheat bran starch and endosperm starch of selected soft wheats grown in Michigan and comparison of their physicochemical properties[J]. Food Chemistry, 2015, 176.
- [12] KAHTAMAN K, AKYILDIA E A, OZTURK S, et al. Effect of different resistant starch sources and wheat bran on dietary fibre content and in vitro glycaemic index values of cookies[J]. Journal of Cereal Science, 2019.
- [13] ALTEMIMI AMMAR B. Extraction and optimization of potato starch and its application as a stabilizer in yogurt manufacturing [J]. Foods (Basel, Switzerland), 2018, 7(2).
- [14] 彭玉娇, 胡兰兰, 姚成. 莲子淀粉不同提取方法的比较及性质研究[J]. 生物加工过程, 2016, 14(4): 55-58.
- [15] 王大为, 刘鸿铨, 宋春春, 等. 超声波辅助提取马铃薯淀粉及其特性的分析[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 17-22.
- [16] LUNDUBWONG N, SEIB P A. Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet-milled rice flour[J]. Journal of Cereal Science, 2000, 31(1): 63-74.
- [17] 赵瑞昌, 田益华, 姜东, 等. 小麦麸皮淀粉的分离制备与特征分析[J]. 食品科学, 2010, 21(10): 1-5.
- [18] 邵媛媛. 小麦麸皮淀粉理化特征及其制备与应用[D]. 南京农业大学, 2013.
- [19] 唐艳, 颜嘉良, 吴文, 等. 超声波辅助碱法提取小麦麸皮淀粉条件的优化[J]. 农产品加工, 2017(2): 1-3+8.
- [20] 戴双, 程敦公. 小麦直、支链淀粉和总淀粉含量的比色快速测定研究[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(3): 442-447.
- [21] 姚新灵, 丁向真. 马铃薯表观淀粉含量与直链淀粉含量相关性研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(5): 953-957.
- [22] 朱宝成. 破损淀粉的研究与应用[J]. 现代面粉工业, 2014, 6(7): 9-11.
- [23] 郑学玲, 张玉玉, 张杰. 青稞淀粉和小麦淀粉的理化性质比较研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(10): 52-56.
- [24] 朱帆, 徐广文, 姚历, 等. 小麦淀粉颗粒的微观结构研究[J]. 食品科学, 2008(5): 93-96.
- [25] 高松洁, 郭天财, 吴雪峰, 等. 小麦淀粉合成关键酶与淀粉主要理化特性研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2002(4): 313-318. 

备注：本文的彩色图表可从本刊官网（<http://lspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>）、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。