



引用格式:申瑞玲,杨溢,董吉林.燕麦脱皮加工工艺研究[J].轻工学报,2017,32(2):13-19.

中图分类号:TS212 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2017.2.003

文章编号:2096-1553(2017)02-0013-07

# 燕麦脱皮加工工艺研究

## Study on the dehulling processing technology of oat

申瑞玲,杨溢,董吉林

SHEN Rui-ling, YANG Yi, DONG Ji-lin

郑州轻工业学院 食品与生物工程学院,河南 郑州 450001

College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China

### 关键词:

燕麦;脱皮工艺;方差分析

### Key words:

oat; dehulling technology; variance analysis

**摘要:**使用精米机对燕麦进行不同时长的脱皮,分别收集不同脱皮时长的燕麦麸和籽粒,借助荧光显微镜观察经脱皮处理后燕麦籽粒糊粉层的保留程度;采用单因素试验和正交试验研究工艺参数对燕麦脱皮效果的影响,并分别对影响脱皮率、白度、碎米率的各因素进行方差分析.结果表明,当脱皮率为9.82%时,燕麦籽粒糊粉层保留较好.以脱皮率9.82%作为参照,得出最优脱皮工艺参数为:水分含量9%,润麦时长180 min,60<sup>#</sup>砂轮摩擦,摩擦时长20 s.在此工艺条件下生产的燕麦粉白度较高,口感较好,色泽均一,出米率高.

收稿日期:2016-12-21

基金项目:公益性行业(农业)科研专项项目(201303069);河南省农业科技攻关项目(152102110103)

作者简介:申瑞玲(1967—),女,山西省灵石县人,郑州轻工业学院教授,博士,主要研究方向为谷物加工与营养.

**Abstract:** Oat was dehulled at different levels by using polishing machine. The oat bran and grain after dehulling of different time-periods were then collected. The aleurone layer residual of oat grain was evaluated by using fluorescence microscopy. The influence of the technology parameters on oat dehulling effect was analyzed by using single factor and orthogonal experiments. Then, the variance analysis of dehulling rate, whiteness and broken rate for oat was further performed. The results showed that the aleurone layer of oat grain retained well under the dehulling rate of 9.82%. Based on the above dehulling rate, the optimal dehulling process was as follows: moisture content 9%, tempering time 180 min, grinding wheel 60<sup>#</sup> and friction time 20 s. Under the technological conditions, oat flour produced with higher white degree, better taste, uniform colour and lustre, and higher milled rice rate.

## 0 引言

燕麦是一种富含蛋白质、脂肪、膳食纤维和微量营养素的重要谷物。燕麦中的蛋白质含量是谷物中最高的,多在16%左右<sup>[1]</sup>。1997年,美国食品和药品管理局(FDA)发表声明称:燕麦中的 $\beta$ -葡聚糖具有防治心血管疾病、降低胆固醇等功效,燕麦食品可以不经审批即进行功效宣传。燕麦为唯一获此殊荣的谷物<sup>[2]</sup>。近年来,国内外对燕麦的消费量不断增加,其副产品燕麦米成为继燕麦片之后的又一燕麦主流产品。燕麦米生产中最关键的工艺步骤就是脱皮。已有研究表明,对谷物进行适当的脱皮处理不仅可以有效减少表皮中残留的微生物、重金属等有害物质的含量,还可以去除麸皮中的植酸,改善口感<sup>[3-4]</sup>。目前,燕麦米的加工大多沿用大米的脱皮工艺。许阳<sup>[5]</sup>使用佐竹碾米机对燕麦籽粒进行脱皮处理,工艺简单、节约成本,便于自动化生产,得到的燕麦米色泽白、口感好。杨才等<sup>[6]</sup>报道了经清杂、去石、打毛、去莽、除壳、蒸煮和烘干的裸燕麦米加工方法,但这种方法脱皮程度低,虽然保留了大部分的营养物质,但色泽暗淡、口感较差。为了追求更好的色泽和口感,目前市场上的燕麦米脱皮程度加深,燕麦皮层特别是糊粉层中营养物质损失较大。D. C. Douglas等<sup>[7]</sup>研究发现,燕麦抛光时间越长,皮层中蛋白质、 $\beta$ -葡聚糖和灰分的含量越低。R. Wang等<sup>[8]</sup>对燕麦进行从外向内的逐层脱皮研

究,结果表明,当燕麦脱皮率为6%左右时,皮层中蛋白质含量最高,而淀粉含量也随着脱皮程度加深逐步升高。基于上述研究,本文拟对燕麦脱皮工艺进行深入研究,以期最大限度地保留燕麦米营养成分,提升产品的色泽和口感。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

主要材料:燕麦,产自河北张家口;OCT冰冻包埋剂,美国SAKURA公司产。

主要仪器:101型电热恒温烘箱,北京科伟永兴仪器有限公司产;GI54DS高压蒸汽灭菌锅,厦门致微仪器有限公司产;JMNJ-3精米机,台州市新恩精密粮仪有限公司产;CM1850UV冰冻切片仪,德国徕卡公司产;Axio Observer A1倒置荧光显微镜,德国蔡司公司产;WSB-X型智能白度测定仪,杭州大成光电仪器有限公司产。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 燕麦的脱皮工艺流程

燕麦→清理筛选→高压蒸汽灭酶→加水润麦→摩擦脱皮→籽皮分离→燕麦米

#### 1.2.2 燕麦脱皮率对籽粒糊粉层保留程度的影响

1)样品处理。将燕麦经过清理筛选并进行灭酶后,称取100 g燕麦经短时间润麦后,使用精米机(30<sup>#</sup>砂轮)进行不同时间的摩擦脱皮,分别收集脱皮时间5 s,10 s,15 s,20 s,25 s和30 s

的燕麦麸和燕麦米,计算不同脱皮时长下的脱皮率.

$$\text{脱皮率} = \text{麸皮质量} / \text{样品原始质量} \times 100\%$$

2)脱皮时长对燕麦籽粒糊粉层保留程度的影响.酚类物质具有自发荧光特性,而燕麦籽粒糊粉层细胞富含酚类物质,因此可以借助荧光显微镜观察燕麦籽粒糊粉层的保留程度<sup>[9]</sup>.用包埋剂将经过不同程度脱皮的燕麦籽粒低温固定,再使用冷冻切片将其切成约 12  $\mu\text{m}$  的薄片.使用荧光显微镜,在 358 nm 激发光下观察不同脱皮时长燕麦籽粒糊粉层的保留情况.

### 1.2.3 润麦条件和摩擦条件对燕麦脱皮效果的影响

1)单因素试验.在上述实验基础上,对燕麦高压瞬时蒸制 15 s 后,分别考察润麦水分、润麦时间、脱皮机砂轮粗糙度和砂轮摩擦时间对燕麦脱皮效果的影响.脱皮效果评价指标包括脱皮率、碎米率和白度.计算脱皮处理后燕麦的脱皮率和碎米率.将经脱皮处理的燕麦米制粉,燕麦粉白度的测定参照 GB/T 22427.6—2008 进行.

2)正交试验.在上述单因素试验的基础上,将润麦水分(A)、润麦时长(B)、砂轮粗糙度(C)和摩擦时长(D)作为试验因素,进行  $L_9(3^4)$  正交试验,以脱皮过程中脱皮率、碎米率和脱皮后燕麦米的粉制品之白度为指标确定燕麦脱皮的最佳工艺参数.

### 1.3 统计方法

测定结果采用 SPSS 软件进行处理,显著性水平为  $P < 0.05$ .

## 2 结果与分析

### 2.1 燕麦脱皮率对籽粒糊粉层保留程度的影响

2.1.1 脱皮时长与脱皮率的关系 表 1 为燕麦脱皮时长与脱皮率的关系.从表 1 可知,随着脱皮时间的延长,燕麦脱皮率逐渐增加.当脱皮时长为 30 s 时,脱皮率达到 27.22%,此时燕麦

中的胚乳组分也有很大一部分被摩擦掉并混入到皮层组分中.

表 1 燕麦脱皮时长与脱皮率的关系

Table 1 The relationship between dehulling time-periods and dehulling rate of oat

实验序号	脱皮时长/s	脱皮率/%
1	5	2.51
2	10	5.74
3	15	9.82
4	20	14.53
5	25	20.63
6	30	27.22

2.1.2 燕麦籽粒糊粉层保留程度 燕麦皮层主要由外果皮、种皮、糊粉层、亚糊粉层组成.用荧光显微镜观察时,绿色荧光部分与皮层(尤其是糊粉层)中的多酚类物质有关,主要是阿魏酸<sup>[10]</sup>.研究表明,燕麦籽粒糊粉层和亚糊粉层中的蛋白质含量较高,多酚类物质比较集中, $\beta$ -葡聚糖也主要存在于此皮层组分中<sup>[11]</sup>.因此,糊粉层和亚糊粉层作为燕麦中最具营养的部分,应该在脱皮过程中被留在籽粒中以富集籽粒的营养.图 1 为不同脱皮时长对燕麦籽粒皮层结构的影响.由图 1 可以看出,随着脱皮时间的延长,燕麦籽粒外果皮、中间层、糊粉层、亚糊粉层依次被去除.脱皮 30 s 以上燕麦的胚乳破碎、淀粉溢出、碎米率急剧上升.而经过 15 s 脱皮之后,燕麦中富含营养物质的糊粉层依然有较多的保留,此时对应的脱皮率为 9.82%,可以作为适宜的脱皮率.

### 2.2 燕麦脱皮条件优化

2.2.1 单因素试验分析 脱皮前对燕麦进行润麦能够增强麸皮的韧性和脱皮效果,有利于皮层、胚乳的分离<sup>[9]</sup>.润麦水分、润麦时长、砂轮粗糙度和摩擦时长对籽粒脱皮效果的影响结果见图 2.由图 2 可知,润麦水分为 11% 时,燕麦籽粒、白度和碎米率均处于较好的水平,脱皮率接近最佳.润麦 180 min 后进行脱皮,相比其他

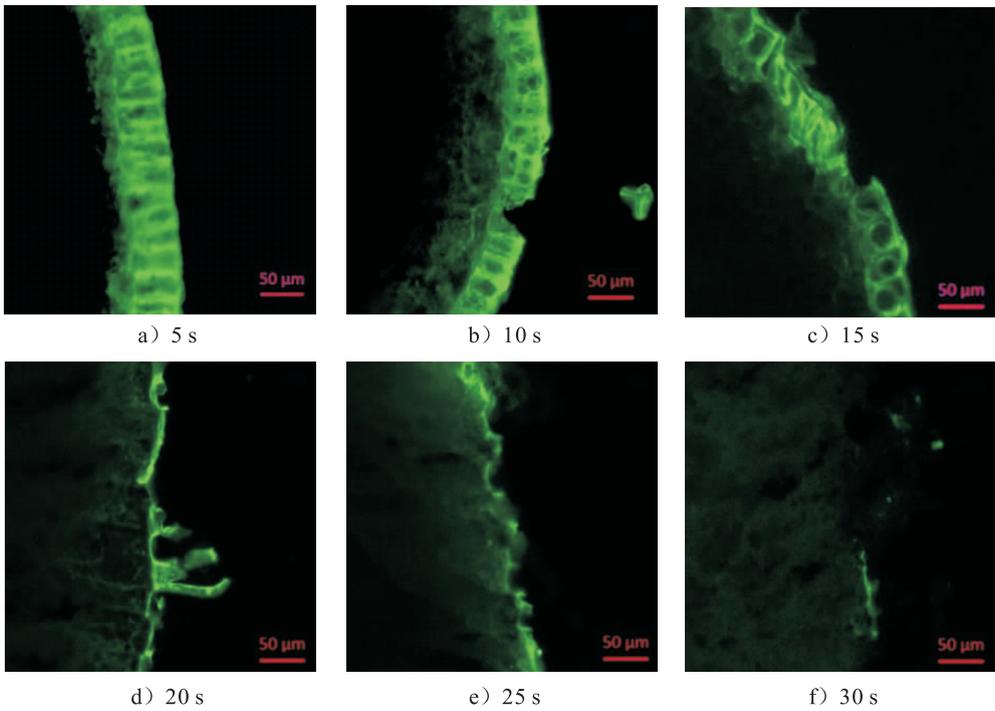


图1 不同脱皮时长对燕麦籽粒皮层结构的影响

Fig. 1 Effect of different dehulling time-periods on the cortical structure of oat

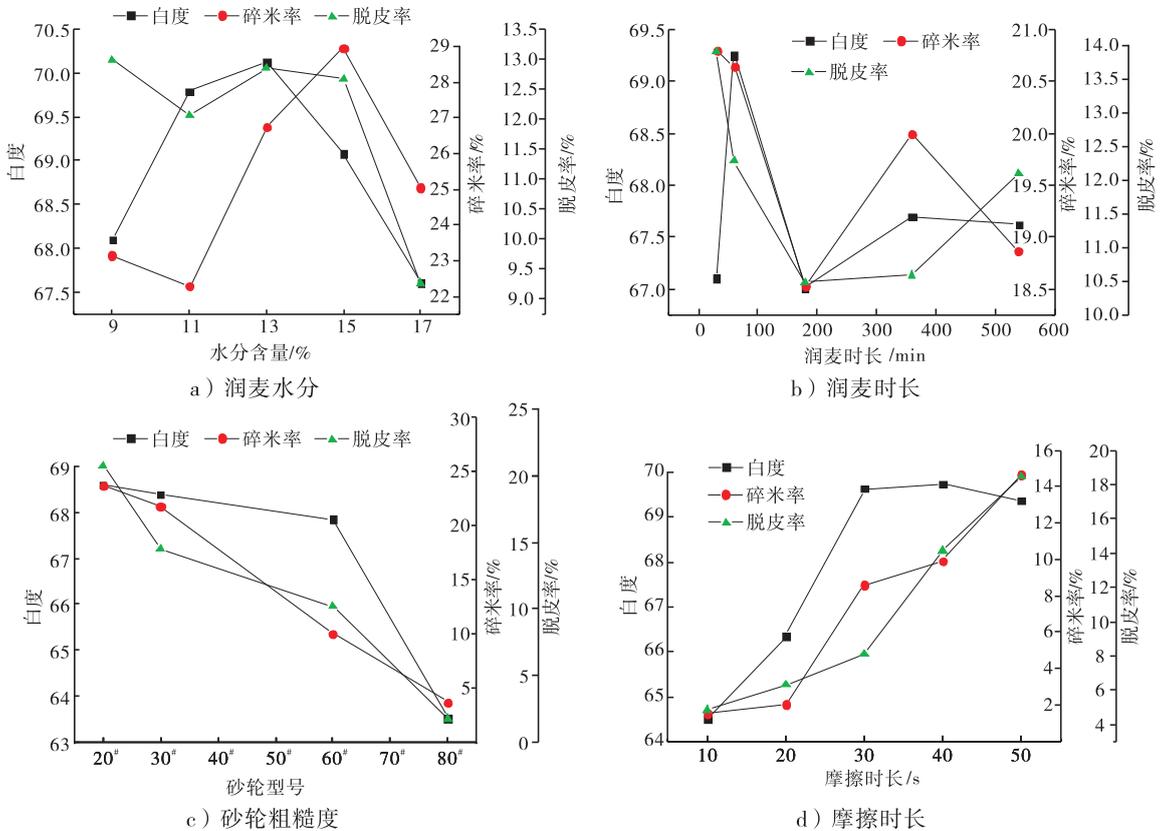


图2 润麦水分、润麦时长、砂轮粗糙度和摩擦时长对燕麦籽粒脱皮率的影响

Fig. 2 Effect of tempering moisture, tempering time-period, grinding wheel roughness and friction time on dehusking rate of oat

润麦时长,脱皮燕麦米的粉制品白度、碎米率、脱皮率均处于较好水平. 在其他条件不变的情况下,砂轮粗糙度与脱皮率成正比,20<sup>#</sup>砂轮粗糙度最大,其对应的脱皮率也最高,而选择60<sup>#</sup>砂轮进行试验,脱皮后燕麦米的粉制品白度较高,碎米率相对较低,且脱皮率接近适宜脱皮率. 此外,摩擦时长也是影响脱皮效果的重要因素之一,摩擦时间越长燕麦的脱皮程度越高,脱皮30 s的燕麦米的粉制品白度和脱皮率均为良好水平,碎米率也在可接受范围内.

**2.2.2 正交试验与方差分析** 在上述单因素试验结果的基础上,针对各因素选择适当的水平进行正交试验,以优化燕麦脱皮的关键工艺参数. 正交试验的因素水平见表2,正交试验结果见表3. 由表3可知,影响脱皮后燕麦粉白度的因素依次为:砂轮型号 > 润麦水分 > 脱皮时长 > 润麦时长,较优方案为:A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>D<sub>3</sub>,即润麦水分9%,润麦时长180 min,砂轮型号30<sup>#</sup>,脱皮时长40 s;影响脱皮过程碎米率的因素依次为:砂轮型号 > 脱皮时长 > 润麦水分 > 润麦时长,较优方案为:A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>,即润麦水分9%,润麦时长360 min,砂轮型号80<sup>#</sup>,脱皮时长20 s;影响脱皮率的因素依次为:砂轮型号 > 脱皮时长 > 润麦水分 > 润麦时长,较优方案为:A<sub>1</sub>B<sub>3</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>,即润麦水分9%,润麦时长360 min,砂轮型号60<sup>#</sup>,脱皮时长30 s. 由此可见,对于不同的评价指标,各因素的影响能力是不同的. 为了进一步确定对脱皮效果影响最大的因素,需

表3 燕麦脱皮工艺的正交试验结果

Table 3 The results of orthogonal test for oat dehulling process

试验号	因素				试验结果		
	A/%	B/min	C	D/s	白度	碎米率/%	脱皮率/%
1	9	60	30 <sup>#</sup>	20	68.1	20.64	16.59
2	9	180	60 <sup>#</sup>	30	66.9	7.61	9.57
3	9	360	80 <sup>#</sup>	40	65.3	1.78	0.45
4	11	60	60 <sup>#</sup>	40	67.3	18.70	25.86
5	11	180	80 <sup>#</sup>	20	64.9	0.78	0.28
6	11	360	30 <sup>#</sup>	30	67.6	25.96	25.63
7	13	60	80 <sup>#</sup>	30	63.2	1.00	0.32
8	13	180	30 <sup>#</sup>	40	68.2	30.69	29.08
9	13	360	60 <sup>#</sup>	20	65.5	4.86	6.14
白度	k <sub>1</sub>	66.77	66.20	67.97	66.17		
	k <sub>2</sub>	66.60	66.67	66.57	65.90		
	k <sub>3</sub>	65.63	66.13	64.47	66.93		
碎米率	k <sub>1</sub>	10.01	13.43	25.76	8.76		
	k <sub>2</sub>	15.15	13.03	10.39	11.52		
	k <sub>3</sub>	12.18	10.87	1.19	17.06		
脱皮率	k <sub>1</sub>	8.93	14.26	23.77	7.67		
	k <sub>2</sub>	17.25	13.04	13.92	11.90		
	k <sub>3</sub>	11.84	10.74	0.35	18.46		

要对试验结果进行方差分析.

**2.2.3 正交试验的方差分析结果** 表4为燕麦粉白度的方差分析结果. 由表4可知,砂轮粗糙度的F值=36.726 > F<sub>0.05</sub>(2,2) = 19,可见砂轮粗糙度对脱皮后燕麦粉的白度影响显著;润麦水分、润麦时长、摩擦时长的F值均小于F<sub>0.05</sub>(2,2),故润麦水分、润麦时长、摩擦时长对其影响不显著.

表4 燕麦粉白度的方差分析

Table 4 The variance analysis of oat flour whiteness

方差来源	离差平方和	自由度	均方值	F	显著性
A	2.25	2	1.13	4.432	
B	0.51	2	0.26	1.000	
C	18.62	2	9.31	36.726	P < 0.05
D	1.73	2	0.87	3.406	
误差(e)	0.51	2			
总和(T)	23.62	10			

注:F<sub>0.05</sub>(2,2) = 19, F<sub>0.01</sub>(2,2) = 99.

表2 燕麦脱皮工艺的正交试验因素水平表

Table 2 The factors and levels of orthogonal test for oat dehulling process

水平因素	A/%	B/min	C	D/s
1	11	60	30 <sup>#</sup>	20
2	13	180	60 <sup>#</sup>	40
3	15	360	80 <sup>#</sup>	60

对脱皮过程中碎米率的方差分析结果见表5,由表5可知,砂轮型号(砂轮粗糙度) $F$ 值 =  $80.92 > F_{0.05}(2,2) = 19$ ,故砂轮粗糙度对脱皮过程中碎米率的影响显著,润麦水分,润麦时长,摩擦时长的 $F$ 值均小于 $F_{0.05}(2,2)$ ,故润麦水分、润麦时长、摩擦时长对其影响不显著。

表6为燕麦脱皮率的方差分析结果.由表6可知,砂轮粗糙度的 $F$ 值 =  $43.357 > F_{0.05}(2,2) = 19$ ,可见砂轮的粗糙度对脱皮率的影响显著;润麦水分、润麦时长、摩擦时长的 $F$ 值均小于 $F_{0.05}(2,2)$ ,故润麦水分、润麦时长、摩擦时长对其影响不显著。

由表4—表6结果可知,砂轮粗糙度对燕麦脱皮率、碎米率和脱皮后燕麦粉白度的影响均显著.对于碎米率来讲,脱皮过程中碎米越少越好,因此选择80<sup>#</sup>砂轮;对于燕麦粉白度来讲,白度越高越好,因此选择30<sup>#</sup>砂轮;对于脱皮率

表5 燕麦碎米率的方差分析

Table 5 The variance analysis of oat broken rate

方差来源	离差平方和	自由度	均方值	$F$	显著性
A	40.09	2	20.05	3.51	
B	11.42	2	5.71	1.00	
C	923.99	2	462.00	80.92	$P < 0.05$
D	107.38	2	53.69	9.40	
误差(e)	11.42	2			
总和(T)	1 082.88	10			

注: $F_{0.05}(2,2) = 19, F_{0.01}(2,2) = 99$ .

表6 燕麦脱皮率的方差分析

Table 6 The variance analysis of oat dehulling rate

方差来源	离差平方和	自由度	均方值	$F$	显著性
A	107.108	2	53.554	5.599	
B	19.13	2	9.565	1.000	
C	829.417	2	414.709	43.357	$P < 0.05$
D	177.466	2	88.733	9.277	
误差(e)	19.13	2			
总和(T)	1 152.251	10			

注: $F_{0.05}(2,2) = 19, F_{0.01}(2,2) = 99$ .

来讲,脱皮率过高糊粉层被去除,营养降低,脱皮率过低皮层中的重金属等有害物质仍然有较多残留,因此越接近最佳脱皮率越好.综合脱皮率、碎米率和白度3个指标,最终选择60<sup>#</sup>砂轮用于燕麦脱皮,这种砂轮粗糙度适宜,能够很好地将燕麦的表皮摩擦掉,同时保留较高的营养组分,减少燕麦的破碎.润麦水分对于3个指标的影响不大,是次要因素,均取9%的水分含量即可.摩擦时长对碎米率的影响较大,对燕麦粉白度的影响相对较小,摩擦时长选择20 s,此时的脱皮率比较接近适宜脱皮率.润麦时长对于脱皮率、碎米率和白度的影响均为最小,结合单因素试验结果,选择180 min为宜。

### 3 结论

本文对燕麦的脱皮工艺进行了深入研究,使用精米机对燕麦进行不同程度的脱皮,借助荧光显微镜观察不同脱皮时长处理的燕麦其籽粒糊粉层的保留程度,并分析两者之间关系;采用单因素试验和正交试验研究润麦水分、润麦时长、砂轮粗糙度、摩擦时长对脱皮率、白度、碎米率的影响,优化燕麦脱皮过程中的关键工艺参数,并分别对影响脱皮率、白度、碎米率的各因素进行方差分析,得到如下结论。

1)脱皮率为9.82%时对应的燕麦籽粒糊粉层保留较好,以此脱皮率为参照生产出来的燕麦米营养价值较高;

2)最优的脱皮工艺参数为:水分含量9%,润麦时长180 min,60<sup>#</sup>砂轮摩擦,摩擦时长20 s.在此工艺条件下生产的燕麦粉白度较高,色泽均一,口感较好,出米率高。

本文的研究结果可为生产中最大限度地保留燕麦米营养成分、提升产品的色泽和口感提供理论依据。

## 参考文献:

- [1] 路长喜,周素梅,王岸娜. 燕麦的营养与加工[J]. 粮油加工,2008(1):89.
- [2] 禹代林. 21世纪的作物名星——燕麦[J]. 西藏农业科技,2002,24(3):12.
- [3] LACA A, MOUSIA Z, DIAZ M, et al. Distribution of microbial contamination within cereal grains[J]. Journal of Food Engineering,2006,72(4):332.
- [4] 董吉林,李林,张文杰,等. 谷物脱皮加工技术的研究现状[J]. 粮食与饲料工业,2014(11):1.
- [5] 许阳. 燕麦米产品研发及其减肥降脂作用的动物评价[D]. 西安:西北农林科技大学,2012.
- [6] 杨才,席文字,罗勇庆. 国产裸燕麦米加工工艺流程与方法[J]. 粮食与油脂,2005(1):38.
- [7] DOEHLERT D C, MOORE W R. Composition of oat bran and flour prepared by three different mechanisms of dry milling[J]. Cereal Chemistry,1997,74(4):403.
- [8] WANG R, KOUTINAS A A, CAMPBELL G M. Effect of pearling on dry processing of oats[J]. Journal of Food Engineering,2007,82(3):369.
- [9] 胡新中,魏益民,任长忠. 燕麦品质与加工[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [10] 董吉林,申瑞玲. 裸燕麦麸皮的营养组成分析及 $\beta$ -葡聚糖的提取[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2005,25(1):70.
- [11] 于磊,王晓曦,王修法. 小麦调质处理及其对制粉特性和小麦粉品质的影响[J]. 粮食与饲料工业,2007(10):4.