

苦荞麦非热脱壳机试验研制

朱新华 范维果 李泽 郭文川

(西北农林科技大学 机械与工程学院,陕西 杨凌 712100)

摘要 为克服传统的熟化脱壳工艺中热处理造成苦荞麦营养损失严重的问题,基于对苦荞麦结构特性和现存脱壳机缺点的分析,提出苦荞麦动态调压磨削非热脱壳方法,并研制了脱壳机。该机具有脱壳室压力动态调整机构。通过单因素试验,明确了影响因素的取值范围,在此基础上采用二次正交旋转组合试验分别建立了脱壳率和整仁率与各因素的回归模型。采用多指标优化,确定的最佳参数组合为:磨削间隙2.6 mm,磨削气囊压强22.3 kPa,揉搓间隙4.0 mm,揉搓气囊压强5.1 kPa,主轴转速470 r/min。在最优参数组合条件下进行验证试验结果表明,整仁率为31.8%,脱壳率为88.1%。脱壳效果不理想的主要原因是脱壳室压力动态调整机构不灵活。

关键词 苦荞麦; 脱壳机; 动态调压; 脱壳率; 整仁率

中图分类号 S226.1+9

文章编号 1007-4333(2017)12-0146-10

文献标志码 A

Test and development of an non-thermal tartary buckwheat huller

ZHU Xinhua, FAN Weiguo, LI Ze, GUO Wenchuan

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract To solve the problem of tartary buckwheat nutrient loss in the traditional boiled hulling process, a new method of nonthermal tartary buckwheat dynamic-pressure grinding hulling was proposed and a hulling machine that had a pressure dynamic adjusting device is developed based on the analysis to the structural feature of tartary buckwheat and the structural defect of existing hulling machine. Through single factor experiment, the values of influencing factors was determined, the regression models of hulling ratio and perfect kernel ratio were then established respectively by quadratic orthogonal rotary combination tests. Multi parameter optimization was used to determine the optimal parameter combination: Grinding chamber gap 2.6 mm, grinding gasbag pressure 22.3 kPa, robbing chamber gap 4.0 mm, robbing gasbag pressure 5.1 kPa, spindle speed 470 r/min. Under this condition, the perfect kernel ratio and hulling ratio of tartary buckwheat in verification test were 31.8% and 88.1%, respectively. The test result showed that primary reason was the dynamic pressure adjusting device didn't work well which resulting in dissatisfactory performance of tartary buckwheat hulling.

Keywords tartary buckwheat; huller; pressure dynamic adjusting; hulling ratio; perfect kernel ratio

苦荞麦,学名鞑靼荞麦,又名三角麦^[1],具有很高的食用价值和药用价值^[2-5]。苦荞麦作为药品、食品和保健品^[6-9],越来越受到人们的重视^[10-11]。我国是全世界苦荞麦种植面积最大的国家^[12-13],与东南亚、中亚、北美和欧洲相比在苦荞麦资源上具有一定优势,但我国苦荞麦的精深加工发展却相对滞后^[14]。

脱壳是苦荞麦加工中的关键技术问题,技术难点在于如何获得高整仁率,且尽量避免其营养损失。为了提高脱壳整仁率,目前的苦荞麦脱壳技术中,需要在脱壳前对苦荞麦进行蒸煮处理^[15]。这种熟化脱壳方法在一定程度上提高了脱壳的整仁率,但苦荞麦中水溶性物质被溶出、热敏性物质被氧化和破坏,导致其营养损失严重,其中总黄酮^[16]、芦丁^[17-18]

收稿日期:2016-11-20

基金项目:陕西省科学技术研究发展计划项目(2015NY001)

第一作者:朱新华,教授,主要从事农产品加工机械设计及农产品品质检测技术研究,E-mail:zxh920@nwsuaf.edu.cn

和槲皮素及多酚化合物^[19]等含量降低率达 75% 以上^[20-22]。同时,熟化脱壳生产中的能耗和水耗较高,其电耗约 20 kW·h/t,水耗约 3~4 m³/t^[23],导致生产成本较高。为了克服熟化处理对苦荞麦营养成分的影响,刘彩霞^[24]设计了一种苦荞麦脱壳机,在实验室条件下脱壳的整仁率及半仁率之和 < 37.6%。这种装置属于非热脱壳,但整仁率不够理想。孙晓靖等^[25]和刘艳辉等^[26]先后对苦荞麦的脱壳方法、脱壳工艺和影响脱壳性能的主要参数进行了研究,但由于苦荞麦粒度分布范围较大,而这些研究均是基于脱壳间隙固定的动、定磨盘装置来实现脱壳,很难从根本上大幅度提高苦荞麦的脱壳整仁率。

近年来,我国苦荞茶等产品在“一带一路”沿线国家别具特色。如何将苦荞麦资源优势转化为经济优势,对脱壳的整仁率和营养保持提出了新的要求。因此,研制一种脱壳间隙动态可调,整仁率高的苦荞麦非热脱壳机对提升我国苦荞麦加工质量具有重要意义。

本研究在分析现有苦荞麦脱壳机结构和工作原理的基础上,基于动态调压磨削脱壳原理,研制苦荞麦非热脱壳机并进行试验,旨在初步确定该机的工

1 苦荞麦脱壳特性的分析

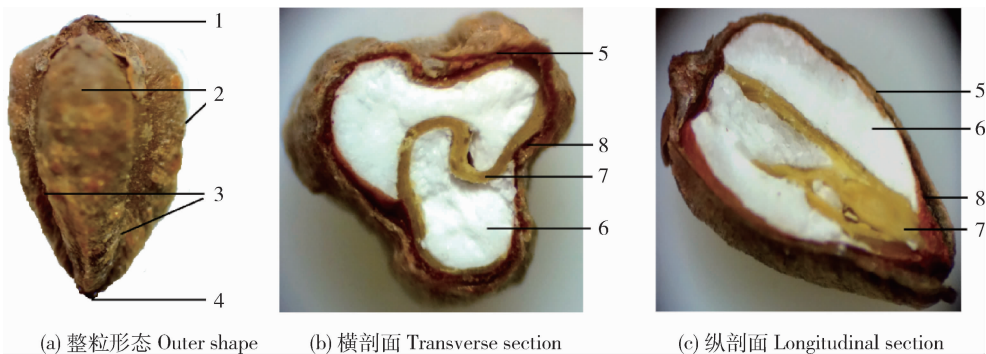
1.1 材料与方法

本试验以云南省迪庆州生产的“迪苦 1 号”苦荞麦为试验对象,于 2016 年 6 月在陕西省杨凌天河机械制造有限公司进行。所用样品的初始干基含水率为 13.8%,密度 668 kg/m³。粒径为 ≥2.4~2.7 mm、≥2.7~3.0 mm 和 ≥3.0~3.3 mm 的苦荞麦分别占总质量的 21.30%、54.35% 和 15.22%。

含水率和密度的测量分别按照 GB/T 5479—1985《国家粮食油料检验水分测定标准》和 GB/T 5498—2013《粮油检验容重测定标准》的方法测定。采用标准筛对苦荞麦进行筛分试验,得到其粒径分布范围。各参数重复 3 次,取平均值。

1.2 苦荞麦结构分析

在 XTL-165 型显微镜(凤凰光学集团有限公司,江西)5 倍放大倍数下观测苦荞麦整粒形态及横、纵剖面结构,苦荞麦呈三棱锥卵形,锥面上有 3 条较深的沟槽,沟槽从苦荞麦籽粒萌发部至基部,锥面结合处为 3 条紧密的圆形棱脊,每个棱脊中间有条生理纹将苦荞麦外壳分为 3 瓣,壳仁紧贴,间隙很小(图 1)。



1. 基部;2. 生理纹;3. 沟槽;4. 萌发部;5. 外壳;6. 仁;7. 胚;8. 壳仁间隙
1. Base;2. Physiological pattern;3. Groove;4. Germination department;5. Shell;6. Benevolence;7. Embryo;8. Shell gap

图 1 苦荞麦外部形态结构及横、纵剖面形态结构

Fig. 1 External structure and transverse and longitudinal section of tartary buckwheat

为了探索苦荞麦脱壳方法,取适量苦荞麦在水中浸泡 2 h 后再置于沸水中煮 30 min,然后捞出自然晾干。在显微镜下观测,发现萌发部棱脊处已开裂(图 2),说明苦荞麦外壳结合强度最薄的部分在形成生理纹的棱脊处。

2 脱壳机结构及工作原理

现有的荞麦脱壳机主要有砂盘砻谷式和胶辊砻谷式 2 种形式,对甜荞麦脱壳效果较为理想,但对苦荞麦脱壳而言脱壳率和整仁率均不理想。原因主要

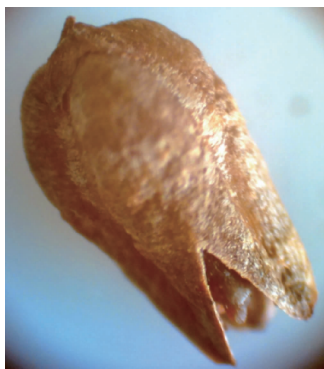


图2 水煮处理后的苦荞麦

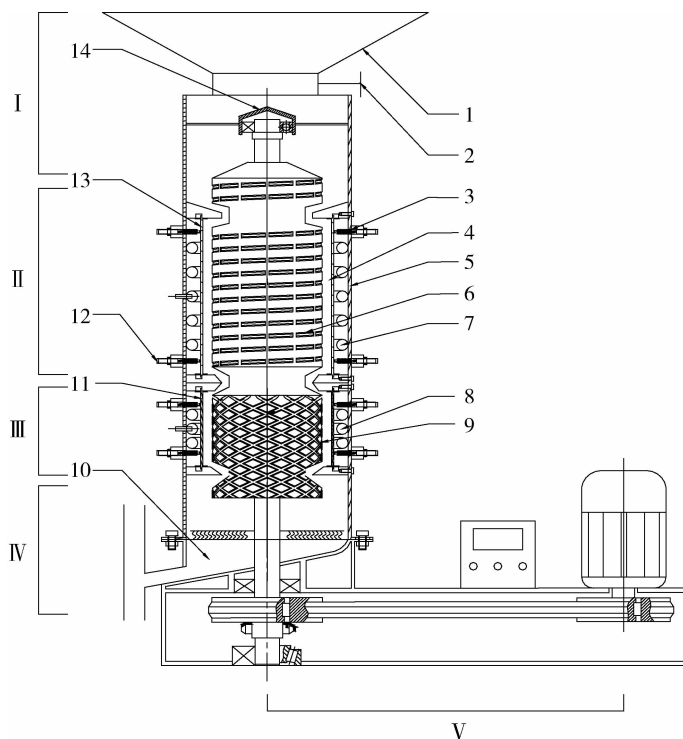
Fig. 2 Boiled tartary buckwheat

有以下几个方面:1)苦荞麦结构较复杂,脱壳时籽粒表面受力不均,棱脊部位应力集中易碎;2)苦荞麦外壳坚韧,而籽仁较为酥脆,外壳的破坏力约为仁的5.4倍,苦荞仁往往先于苦荞壳发生破碎^[24];3)现有的苦荞麦脱壳机中无论是沙盘间隙还是胶辊间隙

均为固定间隙,而苦荞麦粒度分布较宽,容易导致脱壳率和整仁率顾此失彼。因此,如何结合苦荞麦的结构和特性,在减小脱壳部件对籽粒压力的同时降低外壳3瓣之间结合力进而实现破壳是苦荞麦脱壳机设计的关键。

2.1 脱壳机结构

该机由机壳、进料装置、磨削装置、揉搓装置、出料装置和传动装置组成(图3)。其中,磨削装置包括磨削辊、磨削筒、磨削气囊、弹簧等部件,由里及外依次布置。磨削辊与磨削筒之间构成磨削间隙。磨削筒是由3片磨片围成的圆筒,3片磨片之间弹性软连接。磨削筒的上、下端位置以及旋转自由度被相应的机构限制,只有径向可自由伸缩。每个磨片通过4根弹簧向外拉伸预紧,并通过机壳上的调节螺栓调整弹簧的预紧力。磨削筒与机壳之间的空间充填有磨削气囊,磨削气囊为1个或多个连通的橡胶圆环体,接有充气嘴和压力表。



I. 进料装置; II. 磨削装置; III. 揉搓装置; IV. 出料装置; V. 传动装置

I. Feed unit; II. Grinding unit; III. Rubbing unit; IV. Discharge unit; V. Transmission unit

1. 进料斗; 2. 进料阀门; 3. 弹簧; 4. 螺旋槽; 5. 机壳; 6. 磨削辊; 7. 磨削气囊; 8. 揉搓气囊;

9. 揉搓辊; 10. 淌料槽; 11. 揉搓筒; 12. 调节螺栓; 13. 磨削筒; 14. 滑盖

1. Feed hopper; 2. Feed door; 3. Spring; 4. Spiral groove; 5. Body case; 6. Grinding roller; 7. Grinding gasbag; 8. Robbing gasbag;

9. Robbing roller; 10. Discharge chute; 11. Robbing cylinder; 12. Adjusting bolt; 13. Grinding cylinder; 14. Slip cover

图3 苦荞麦脱壳机结构

Fig. 3 The constructure of tartary buckwheat huller

揉搓装置处于磨削装置的下部,两者结构基本一致,且连成一体,内部上下相通。两者的不同之处在于磨削辊表面和磨削筒内壁均为金刚砂磨料层,而揉搓装置中的揉搓辊表面和揉搓筒内壁为橡胶层。磨削辊与揉搓辊上下相接形成 1 个圆柱体,外表设置有螺旋槽。

2.2 工作原理

磨削装置的作用是通过充分低压研磨,使苦荞麦籽粒棱脊和锥顶处的外壳被磨削而露白(图 4(b)),减小外壳三瓣之间的结合力。揉搓装置

的作用是对苦荞麦实施低压揉搓,使得壳仁剥离(图 4(c)、(d))。

苦荞麦入机后,在脱壳机上段的磨削间隙中形成一定的堆积,并在磨削辊旋转带动和自身重力作用下作整体螺旋式下落。磨削辊和磨削筒对苦荞麦充分研磨,使其棱角部分的皮壳被磨削而露白,减小外壳三瓣之间的结合力。磨削辊表面的螺旋槽有 2 个作用,其一是促使籽粒沿螺旋上行,可延长磨程,其二是当籽粒间压力过大时,被挤入槽中,避免破碎。

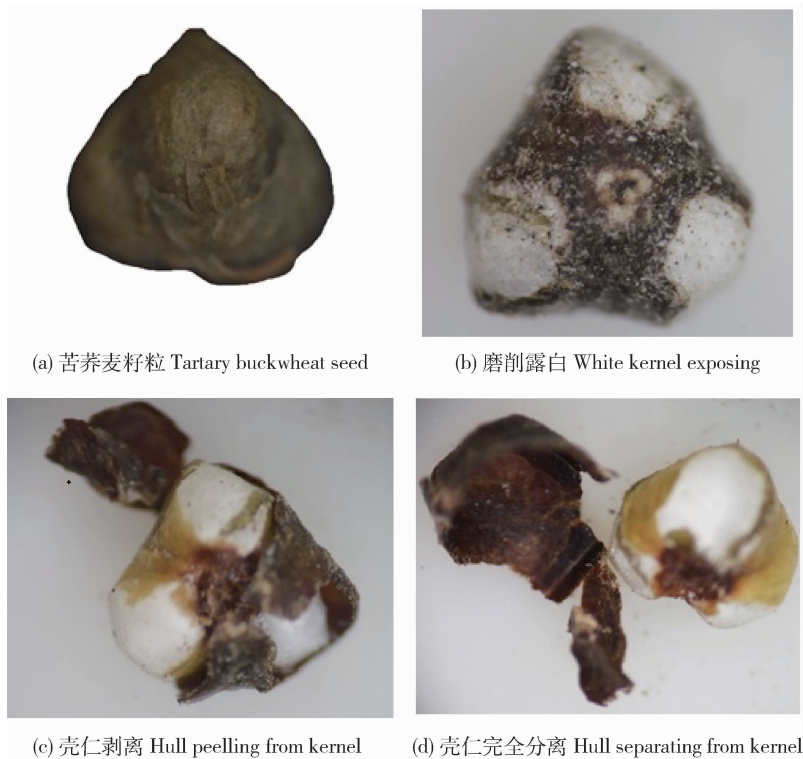


图 4 苦荞麦籽粒脱壳过程

Fig. 4 The hulling process of tartary buckwheat

露白后的苦荞麦继续下行进入揉搓间隙,在揉搓辊旋转带动和自身重力作用下作整体螺旋式下落。在与揉搓辊和揉搓筒橡胶面接触过程中,橡胶面以及籽粒之间的搓擦作用使得露白后的苦荞麦外壳 3 瓣皮壳与籽仁剥离。

在磨削段,磨削间隙和苦荞麦籽粒所受挤压力可自动动态调整。磨削筒内侧受到苦荞麦挤压力,外侧受到磨削气囊的挤压力和弹簧的预紧力,当磨削筒所受籽粒压力与弹簧的预紧力之和大于所受磨削气囊压力时,筒径自动增大,反之则反。在揉搓

段,揉搓间隙和苦荞麦籽粒所受挤压力动态调整原理与磨削段相同。通过调整弹簧预紧力和气囊压力,该苦荞麦脱壳机可适于不同品种的苦荞麦脱壳。

3 苦荞麦脱壳机关键参数确定

影响脱壳性能的关键参数有:原料含水率、磨削气囊压强、磨削间隙、揉搓气囊压强、揉搓间隙和主轴转速。其中含水率拟通过受挤压时的临界破损压力来确定;其余参数为机器参数,拟通过正交试验进行优化。根据预试验,磨削气囊压强 7.5 ~

37.5 kPa,磨削间隙 2.0~6.0 mm,揉搓气囊压强 5.0~25.0 kPa,揉搓间隙 2.0~8.0 mm,主轴转速 350~750 r/min。各参数在取值范围内 5 等分均匀设置试验点。脱壳机的最大容积约为 40 L,可容纳约 20 kg 的苦荞麦。每次处理量为 2 kg,每次处理时间约 55 s。

3.1 苦荞麦最佳脱壳含水率的确定

将烘至绝干的 600 g 苦荞麦均分为 6 等份,装在塑封袋内,加去离子水制备干基含水率分别为 0.0%、5.0%、10.0%、20.0%、25.0%、35.0% 的苦荞麦样品。5℃ 条件下密封放置 48 h 后测量每个样品的实际含水率。冷藏期间多次摇动塑料袋,使水分均匀。

从制备好的不同含水率的 6 份样品中分别随机取 40 粒,给其中 20 粒苦荞麦在长轴方向施加载荷,给另外的 20 粒在短轴方向施加载荷,用 FGP-50 数字式测力仪(日本电产新宝株式会社,日本)测量当苦荞麦籽粒外壳出现破裂时的临界破损压力,结果见图 5。可以看出,苦荞麦的临界破损压力均随含水率的上升先增大后减小,且短轴方向的临界破损压力大于长轴方向。当含水率为 19.3% 和 26.4% 时,其短轴和长轴方向的临界破损压力分别达到最大值。当含水率为 26.4%,其短轴与长轴方向的临界破损压力比较接近,且大于 19.3% 时长轴方向上的临界破损压力,确定苦荞麦脱壳最佳干基含水率为 26.4%。

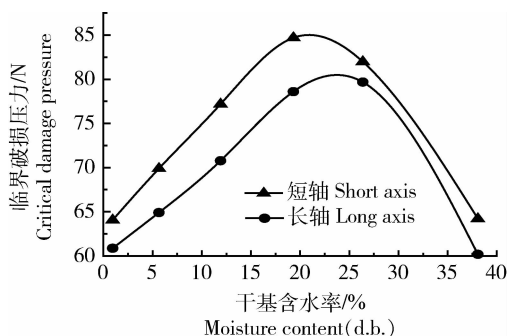


图 5 不同干基含水率下苦荞麦的临界破损压力

Fig. 5 Critical damage pressure of tartary buckwheat at different moisture contents in dry basis

3.2 机器参数单因素试验

3.2.1 磨削气囊压强对苦荞麦脱壳效果的影响

在磨削间隙为 4.0 mm,揉搓气囊压强 15.0 kPa,揉搓间隙 5.0 mm,磨辊转速 550 r/min 条件

下,磨削气囊压强对苦荞麦脱壳效果的影响见图 6。随着磨削气囊压强的增大,脱壳率单调增大,整仁率先增大后减小。当磨削气囊压强为 15.0 kPa 时,其整仁率最高。综合考虑,将 15.0 和 22.5 kPa 分别作为正交试验磨削气囊压强的下水平和上水平值。

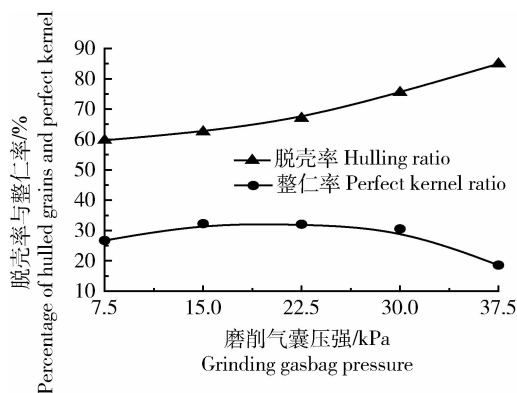


图 6 磨削气囊压强对脱壳效果的影响

Fig. 6 Influence of grinding gasbag pressure on hulling result

3.2.2 磨削间隙对苦荞麦脱壳效果的影响

当磨削气囊压强为 15.0 kPa,揉搓气囊压强 15.0 kPa,揉搓间隙 5.0 mm,磨辊转速 550 r/min 时,磨削间隙对苦荞麦脱壳效果的影响见图 7。随着磨削间隙的增大,脱壳率近乎线性下降,整仁率先增大后减小。当磨削间隙为 3.0 mm 时,其整仁率最高。综合考虑,选择 3.0 和 4.0 mm 为后续正交试验磨削间隙的下水平和上水平值。

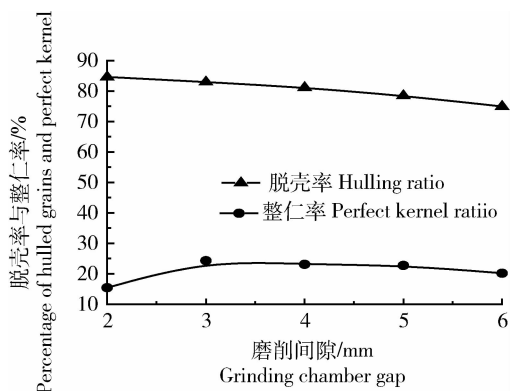


图 7 磨削间隙对脱壳效果的影响

Fig. 7 Influence of grinding chamber gap on hulling result

3.2.3 揉搓气囊压强对脱壳效果的影响

在磨削气囊压强为 15.0 kPa,磨削间隙

3.0 mm, 揉搓间隙 4.0 mm, 磨辊转速 550 r/min 条件下, 揉搓气囊压强对脱壳效果的影响见图 8。随着揉搓气囊压强的增大, 脱壳率呈增大趋势, 整仁率先增大后减小。当揉搓气囊压强为 10.0 kPa 时, 其整仁率最高。综合考虑, 选择揉搓气囊压强 10.0 和 15.0 kPa 为后续正交试验揉搓气囊压强的下水平和上水平值。

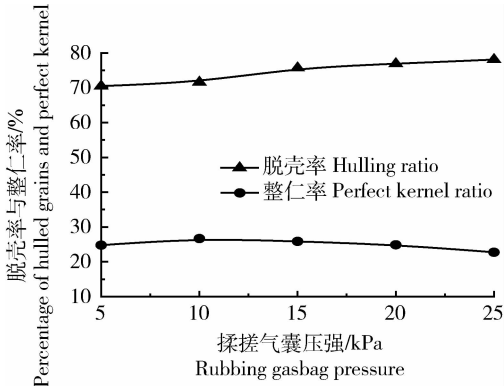


图 8 揉搓气囊压强对脱壳效果的影响

Fig. 8 Influence of rubbing chamber pressure on hulling result

3.2.4 揉搓间隙对脱壳效果的影响

在磨削气囊压强为 15.0 kPa, 磨削间隙 3.0 mm, 揉搓气囊压强为 10.0 kPa, 磨辊转速为 550 r/min 条件下, 揉搓间隙对苦荞麦脱壳效果的影响见图 9。随着揉搓间隙的增大, 脱壳率减小, 整仁率先增大后减小。当磨削间隙为 5.0 mm 时, 其整仁率最高。设定 5.0 和 6.5 mm 为后续正交试验揉搓间隙的下水平和上水平值。

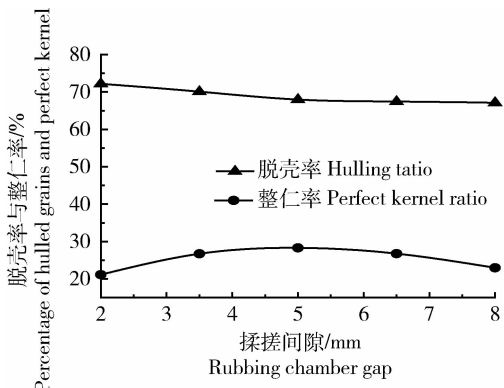


图 9 揉搓间隙对脱壳效果的影响

Fig. 9 Influence of rubbing chamber gap on hulling result

3.2.5 主轴转速对脱壳效果的影响

在磨削气囊压强为 15.0 kPa, 磨削间隙 3.0 mm, 揉搓气囊压强 10.0 kPa, 揉搓间隙 5.0 mm 下, 主轴转速对苦荞麦脱壳效果的影响见图 10。随着主轴转速的增大, 脱壳率增大, 而整仁率先增大后减小。当磨辊转速为 550 r/min 时, 其整仁率最高。设定 450 和 550 r/min 为后续正交试验主轴转速的下水平和上水平值。

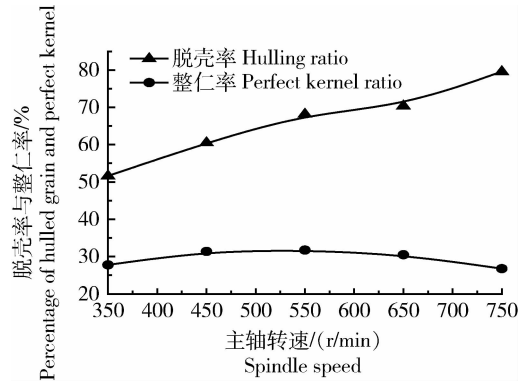


图 10 主轴转速对脱壳效果的影响

Fig. 10 Influence of spindle speed on hulling result

3.3 二次正交旋转组合试验

在确定的各机器参数取值基础上, 用 Design-Expert 8.0.6 进行二次正交旋转组合设计, 以脱壳率和整仁率为试验指标确定各机器参数的最佳值, 试验安排及结果见表 1。整仁率的测定根据 GB/T 1354—1986《大米碎米的测定标准》进行。根据脱壳后苦荞麦的总质量占脱壳前总苦荞麦质量的百分数计算脱壳率。

3.4 结果与分析

3.4.1 整仁率回归模型的建立

运用 Design-Expert 对试验数据进行处理分析, 拟合整仁率 y_1 与磨削间隙 x_1 、磨削气囊压强 x_2 、揉搓间隙 x_3 、揉搓气囊压强 x_4 、主轴转速 x_5 之间的回归模型为:

$$y_1 = 1.820 - 0.244x_1 - 0.045x_2 - 0.199x_3 - 0.037x_4 - (2.216 \times 10^{-4})x_5 + 0.036x_1^2 + (1.193 \times 10^{-3})x_1 + 0.018x_3^2 + (1.339 \times 10^{-3})x_4^2 \quad (1)$$

显著性分析表明, 模型(1)在 0.05 以上水平显著, 但磨削气囊压强 x_2 、揉搓气囊压强 x_4 不显著。

表1 二次正交旋转组合设计试验安排及结果

Table 1 Design scheme and test results of quadratic orthogonal rotation combination experiments

试验号 Test number	磨削间隙/mm Grinding chamber gap	磨削气囊 压强/kPa Grinding gasbag pressure	揉搓间隙/ mm Rubbing chamber gap	揉搓气囊 压强/kPa Rubbing gasbag pressure	主轴转速/ (r/min) Spindle speed	脱壳率/% Hulling ratio	整仁率/% Perfect kernel ratio
1	3.0	15.0	5.0	10.0	550	81.4	18.3
2	4.0	15.0	5.0	10.0	450	57.5	26.7
3	3.0	22.5	5.0	10.0	450	78.3	22.7
4	4.0	22.5	5.0	10.0	550	75.1	22.4
5	3.0	15.0	6.5	10.0	450	74.1	25.5
6	4.0	15.0	6.5	10.0	550	62.7	27.3
7	3.0	22.5	6.5	10.0	550	79.4	20.4
8	4.0	22.5	6.5	10.0	450	59.2	27.4
9	3.0	15.0	5.0	15.0	450	76.3	24.6
10	4.0	15.0	5.0	15.0	550	82.3	22.2
11	3.0	22.5	5.0	15.0	550	65.7	27.9
12	4.0	22.5	5.0	15.0	450	67.6	29.2
13	3.0	15.0	6.5	15.0	550	77.9	19.9
14	4.0	15.0	6.5	15.0	450	55.6	31.6
15	3.0	22.5	6.5	15.0	450	80.5	24.7
16	4.0	22.5	6.5	15.0	550	69.3	25.1
17	2.5	18.8	5.8	12.5	500	88.0	17.0
18	4.5	18.8	5.8	12.5	500	75.2	23.5
19	3.5	11.3	5.8	12.5	500	76.4	24.7
20	3.5	26.3	5.8	12.5	500	83.3	22.0
21	3.5	18.8	4.3	12.5	500	87.8	18.8
22	3.5	18.8	7.3	12.5	500	81.3	22.5
23	3.5	18.8	5.8	7.5	500	84.4	23.1
24	3.5	18.8	5.8	17.5	500	87.0	16.9
25	3.5	18.8	5.8	12.5	400	80.5	20.4
26	3.5	18.8	5.8	12.5	600	84.5	19.5
27	3.5	18.8	5.8	12.5	500	85.2	16.9
28	3.5	18.8	5.8	12.5	500	85.0	18.4
29	3.5	18.8	5.8	12.5	500	81.3	22.6
30	3.5	18.8	5.8	12.5	500	84.5	18.1
31	3.5	18.8	5.8	12.5	500	87.9	17.3
32	3.5	18.8	5.8	12.5	500	84.8	18.3

3.4.2 脱壳率回归模型建立

运用 Design-Expert 对试验数据进行处理分析,拟合脱壳率 y_2 与磨削间隙 x_1 、磨削气囊压强 x_2 、揉搓间隙 x_3 、揉搓气囊压强 x_4 、磨辊转速 x_5 之间的回归模型为:

$$y_2 = 2.663 - 0.768x_1 + 0.072x_2 - 0.021x_3 + (2.139 \times 10^{-3})x_4 - (4.298 \times 10^{-3})x_5 + (2.212 \times 10^{-3})x_1x_5 - (1.857 \times 10^{-3})x_2^2 \quad (2)$$

显著性分析表明,模型(2)在 0.05 以上水平显著,但磨削气囊压强 x_2 、揉搓气囊压强 x_4 不显著。

3.4.3 整仁率和脱壳率的响应优化

整仁率 y_1 和脱壳率 y_2 的优化要求是取最大

值,在 Design-Expert 优化模块(Optimization)下限定 x_1 的范围 2.0~6.0 mm、 x_2 范围 7.5~37.5 kPa、 x_3 范围 2.0~8.0 mm、 x_4 范围 5.0~25.0 kPa、 x_5 范围 350~750 r/min,求取回归模型(1)和(2)中 y_1 和 y_2 的最大值,去掉其中不符合实际要求的预测组合,并在脱壳机上对其进行验证试验,每个试验点重复 2 次取平均值(表 2)。

综合对比整仁率和脱壳率的计算值、实测值及绝对误差,表 2 中序号 2 对应组合下的整仁率 y_1 和脱壳率 y_2 到达最优,当 $x_1=2.6$ mm, $x_2=22.3$ kPa, $x_3=4$ mm, $x_4=5.1$ kPa, $x_5=470$ r/min 时,整仁率 y_1 的实测值为 31.8%,脱壳率 y_2 的实测为 88.1%。

表 2 脱壳机最优参数预测结果

Table 2 Optimal parameter prediction and verification of the huller

序号 No.	最优参数组合 Optimal parameter combination					计算值/% Calculated value		实测值/% Measured value		绝对误差/% Absolute error	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2	y_1	y_2	y_1	y_2
1	2.1	27.9	4.6	11.4	433	35.1	90.6	29.0	87.8	6.1	2.8
2	2.6	22.3	4.0	5.1	470	33.4	90.9	31.8	88.1	1.6	2.8
3	2.0	20.0	7.9	13.3	496	32.9	89.0	27.6	85.1	5.3	3.9
4	3.6	16.9	4.0	22.5	686	32.7	93.3	29.5	89.7	3.2	3.6
5	2.1	26.3	5.8	16.1	440	31.2	92.4	29.1	86.6	2.1	5.8
6	3.4	18.3	6.1	23.8	703	31.2	88.1	28.4	83.1	2.8	5.0
7	4.0	17.5	4.8	21.7	622	30.8	91.9	26.4	85.7	4.4	6.2
8	2.3	24.3	6.4	17.2	422	30.0	95.4	25.9	92.4	4.1	3.0

3.4.4 影响脱壳率和整仁率的原因分析

在最佳参数下,苦荞麦一次脱壳率为 88.1%,整仁率 31.8%,整仁率还是不够理想。究其原因,主要是零件加工精度低,脱壳室压力动态调整机构不够灵活,使得动态调压磨削技术的优势没有充分发挥出来。显著性分析中磨削气囊压强和揉搓气囊压强的影响不显著也充分说明了这一点。后续研究将改进相关结构,提高零件加工精度以提高苦荞麦脱壳效果。

4 结论

1)苦荞麦的临界破损压力随含水率的上升先增

大后减小,当含水率为 19.3%和 26.4%时,其短轴和长轴方向的临界破损压力分别达到最大值,且短轴方向的临界破损压力大于长轴方向。显微结构表明,外壳结合强度最薄弱的位置在形成生理纹的棱脊处。

2)研制的苦荞麦非热脱壳机的工作过程包括“磨削”和“揉搓”2 个阶段,磨削阶段通过磨削作用降低外壳棱脊处的结合强度,揉搓阶段实现壳与仁的剥离。该机具有脱壳压力调整气囊,使脱壳压力动态可调。

3)单因素试验结果表明,脱壳率随着气囊压强和主轴转速的增大而提高,随着磨削间隙和揉搓间

隙的减小而降低;整仁率随着磨削(揉搓)气囊压强、磨削(揉搓)间隙以及主轴转速的增大先增大后逐渐降低。

4)通过二次正交旋转组合试验建立了脱壳率、整仁率与影响因素之间的回归模型。对该模型验证试验表明,当磨削间隙为 2.6 mm,磨削气囊压强 22.3 kPa,揉搓间隙 4.0 mm,揉搓气囊压强 5.1 kPa,主轴转速 470 r/min 时,整仁率为 31.8%,脱壳率 88.1%。说明该机的脱壳效果不够理想,主要原因是脱壳压力调整机构动作不灵活,有待进一步改进。

参考文献 References

- [1] 赵刚,陕方. 中国苦荞[M]. 北京:科学出版社,2009:2-29
Zhao G, Shan F. *Tartary Buckwheat in China* [M]. Beijing: Science Press, 2009: 2-29 (in Chinese)
- [2] 张超,卢艳,郭贯新,张晖. 苦荞麦蛋白质抗疲劳功能机理的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(6): 78-82, 87
Zhang C, Lu Y, Guo G X, Zhang H. Studies on antifatigue of buckwheat protein [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2005, 24 (6): 78-82, 87 (in Chinese)
- [3] 刘玉江,王菁莎,刘景彬. 荞麦的加工利用[J]. 粮食加工, 2006, 31(2): 20-23
Liu Y J, Wang Q S, Liu J B. The useage and processing of buckwheat [J]. *Grain Processing*, 2006, 31 (2): 20-23 (in Chinese)
- [4] 周艳萍,张正浩. 复方苦荞麦对糖尿病大鼠血管并发症早期防治的研究[J]. 辽宁中医药大学学报, 2007, 9(6): 185-186
Zhou Y P, Zhang Z H, Study on early prevention for vascular complications in diabetic rats by component tartary buckwheat [J]. *Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine*, 2007, 9(6): 185-186 (in Chinese)
- [5] 姜忠丽,王俊伟. 丁香、苦荞麦及蒲公英的复配抑菌作用[J]. 粮食与饲料工业, 2011(8): 39-41
Jiang Z L, Wang J W. Synergistic antibacterial action of flos caryophylli, bitter buck-wheat and taraxacum mongolicum [J]. *Cereal and Feed Industry*, 2011(8): 39-41 (in Chinese)
- [6] Eggum D B O, Kreft I, Javornik B. Chemical composition and protein quality of buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*) [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1980, 30 (3-4): 175-179
- [7] Hung P V, Morita N. Distribution of phenolic compounds in the graded flours milled from whole buckwheat grains and their antioxidant capacities [J]. *Food Chemistry*, 2008, 109(2): 325-331
- [8] 程琳娟,孙启发,周坚. 苦荞麦保健蛋糕的研究[J]. 粮食加工, 2010, 35(2): 75-77
Cheng L J, Sun Q F, Zhou J. Study on tartary buckwheat functional cake [J]. *Grain Processing*, 2010, 35 (2): 75-77 (in Chinese)
- [9] 郎桂常. 苦荞麦的营养价值及其开发应用[J]. 中国粮油学报, 1996(3): 9-14
Lang G C. Bitter buckwheat: A Chinese nutraceutical [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 1996(3): 9-14 (in Chinese)
- [10] Bonafaccia G, Marocchini M, Kreft I. Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat [J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(1): 9-15
- [11] 左光明. 苦荞主要营养成分成分关键利用技术研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2009
Zuo G M. Research on key utilization techniques of main nutritional components of tartary buckwheat [D]. Guiyang: Guizhou University, 2009 (in Chinese)
- [12] 林汝法,周小理,任贵兴,边俊生,陕方. 中国荞麦的生产与贸易、营养与食品[J]. 食品科学, 2005(1): 259-263
Lin R F, Zhou X L, Ren G X, Bian J S, Shan F. Production and trading of buckwheat in China, nutrition and food [J]. *Food Science*, 2005(1): 259-263 (in Chinese)
- [13] 林汝法. 发挥苦荞种植优势 做大做强苦荞产业[J]. 作物杂志, 2008(5): 1-4
Lin R F, Taking advantage of tartary buckwheat planting, expand and strenghten the buckwheat industry [J]. *Crops*, 2008 (5): 1-4 (in Chinese)
- [14] Zemnukhova L A, Kolzunova L G, Shkorina E D. Extractive substances formed from buckwheat grain production waste [J]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2007, 80 (6): 1007-1011
- [15] 李红梅,胡俊君,李云龙,陕方,边俊生. 苦荞米及萌动苦荞米加工工艺研究[J]. 食品工业科技, 2011(12): 362-364
Li H M, Hu J J, Li Y L, Shan F, Bian J S. Study on tartary buckwheat grain and germinated tartary buckwheat grain processing [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011(12): 362-364 (in Chinese)
- [16] 邹亮,赵钢,周浓,胡一冰,彭镰心,杨敬东. 苦荞黄酮提取与分离技术的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009(27): 13235-13237
Zou L, Zhao G, Zhou N, Hu Y B, Peng L X, Yang J D. Research progress on the extraction and separation techniques of flavone from tartary buckwheat [J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2009 (27): 13235-13237 (in Chinese)
- [17] Jiang P, Burczynski F, Campbell C, Pierce G, Austria J A, Briggs C J. Rutin and flavonoid contents in three buckwheat species *Fagopyrum esculentum*, *F. tataricum*, and *F. homotropicum* and their protective effects against lipid peroxidation [J]. *Food Research International*, 2007, 40(3): 356-364
- [18] Liu B G, Zhu Y Y. Extraction of flavonoids from flavonoid-rich parts in tartary buckwheat and identification of the main flavonoids [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78 (2): 584-587

- [19] Morishita T, Yamaguchi H, Degi K. The contribution of polyphenols to antioxidative activity in common buckwheat and tartary buckwheat grain[J]. *Plant Production Science*, 2007, 10(1):99-104
- [20] Zhang M, Chen H X, Li J L, Pei Y, Liang Y. Antioxidant properties of tartary buckwheat extracts as affected by different thermal processing methods[J]. *Food Science and Technology*, 2010, 43(1):181-185
- [21] 秦培友. 我国主要荞麦品种资源品质评价及加工处理对荞麦成分和活性的影响[D]. 北京:中国农业科学院, 2012
Qin P Y. Quality evaluation of Chinese main buckwheat cultivars and effect of processing on the components and health-relevant functionality of buckwheat[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012 (in Chinese)
- [22] Cui X D, Wang Z H. Preparation and properties of rutin-hydrolyzing enzyme from tartary buckwheat seeds[J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(1):60-66
- [23] 胡志超. 加强荞麦脱壳加工设备研究开发 促进荞麦加工产业化发展[J]. 中国农机化, 2004(3):11-13
Hu Z C. Should strengthen the digestion of key technical facilities and the development of domestic production for buckwheat processing [J]. *Chinese Agricultural Mechanization*, 2004(3):11-13 (in Chinese)
- [24] 刘彩霞. 苦荞麦熟化前后的机械特性对其剥壳效率的影响 [D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2012
Liu Caixia. Study on mechanical properties of tartary buckwheat aging before and after and its influence on shelling efficiency [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012 (in Chinese)
- [25] 孙晓靖, 杜文亮, 赵士杰, 赵卫东, 刘艳辉. 苦荞麦脱壳方法的试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12):220-222
Sun X J, Du W L, Zhao S J, Zhao W D, Liu Y H. Experiment on hulling method of tartary buckwheat [J]. *Transactions of the Chinese society of Agricultural Machinery*, 2007, 38(12):220-222 (in Chinese)
- [26] 刘艳辉, 杜文亮, 吴英思. 苦荞麦脱壳工艺及主要参数的优化 [J]. 农机化研究, 2008(12):131-133
Liu Y H, Du W L, Wu Y S. Experimental study on the optimization of the hulling method and main parameters of tartarian buckwheat [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2008(12):131-133 (in Chinese)

责任编辑：刘迎春