

单颗粒花生挤压过程中的力学 - 出油特性

陈欢¹, 杨柳¹, 罗凯¹, 范雨超¹, 尹超超¹,

宋少云^{1,2}, 张永林^{1,2}

(1. 武汉轻工大学机械工程学院, 武汉 430023; 2. 湖北省粮油机械工程技术研究中心, 武汉 430023)

摘要:以单颗粒半粒花生为研究对象, 利用原位观测结合质构仪测试的方式对花生进行挤压实验, 研究花生在不同的压距、压速、保压时间及温度条件下的结构 - 力学 - 出油特性, 并且建立相关的曲线拟合模型。结果表明: 压距逐渐增大, 花生所受峰值力也逐渐增大, 花生表面被挤压开始变形, 逐渐产生裂纹, 压力较大时, 花生变成饼状, 裂纹布满整个表面; 峰值力随着温度的升高先缓慢升高后急剧降低, 再趋于稳定; 压速及保压时间对峰值力无明显影响。递增的压距和保压时间皆能促进花生出油, 而压速增加则会抑制花生出油; 花生出油量随着温度的升高先缓慢增大后急剧减小, 然后趋于稳定。花生颗粒挤压出油的最优条件为压距 5 mm、压速 0.5 mm/s、保压时间 360 s 和温度 75 °C。

关键词:花生; 力学特性; 出油量; 曲线拟合

中图分类号: TS225.12; TS221 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)03-0148-05

Mechanics - oil output characteristics of peanut pellets during extrusion

CHEN Huan¹, YANG Liu¹, LUO Kai¹, FAN Yuchao¹, YIN Chaochao¹,
SONG Shaoyun^{1,2}, ZHANG Yonglin^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Hubei Grain and Oil Machinery Engineering Technology Research Center, Wuhan 430023, China)

Abstract: Taking half of the single-grain peanuts as the research object, the in-situ observation combined texture analyzer was used to carry out the extrusion test to study the mechanics - oil output characteristics of the peanuts under conditions of different extrusion distance, extrusion speed, pressure holding time and temperature, and the relevant curve fitting model was established. The results showed that the peak force of peanuts increased with the increase of extrusion distance. The peanut surface was extruded and began to deform, gradually cracks occurred. When the pressure was higher, the peanut became a cake shape, and the cracks covered the whole surface. With the increase of temperature, the peak force first increased slowly, then decreased sharply, and then tended to be stable. The extrusion speed and pressure holding time had no obvious effect on the peak force. Increasing extrusion distance and pressure holding time could promote the oil output of peanuts, and the increasing extrusion speed could inhibit the oil output of peanuts. The oil output of peanuts increased slowly, then decreased sharply, and then tended to be stable with the increase of temperature. The optimal conditions for extruding oil from peanut pellets were obtained as follows: extrusion distance 5 mm, extrusion speed 0.5 mm/s, pressure holding time 360 s and temperature 75 °C.

Key words: peanut; mechanical characteristics; oil output; curve fitting

收稿日期: 2021-03-06; 修回日期: 2021-08-23

基金项目: 湖北省教育厅科研项目(Q20211609); 武汉轻工大学杰出青年科学基金(2020J06)

作者简介: 陈欢(1998), 男, 在读硕士, 研究方向为粮油加工(E-mail)2293305261@qq.com。

通信作者: 杨柳, 讲师, 博士(E-mail)yangliuivctry@163.com。

花生起源于南美大陆, 在我国被称作“落花生”“长生果”, 属于豆科一年生草本油料作物。在全球五大油料作物中, 其产量排名第四^[1]。近年来, 我

国花生产业发展迅猛,种植面积和产量逐渐增长^[2]。花生主要由外壳(木质化粗纤维)和花生仁组成。花生仁是花生的两瓣子叶,由花生红衣包裹着,并且胚位于两片子叶的茎部^[3]。花生中含有丰富的油脂和蛋白质^[4],油脂含量为46%~52%,蛋白质含量为25%~30%。我国花生的需求主要由压榨、食用、出口及种子4部分组成,其中压榨需求和食用需求占主要部分^[5]。

花生油一般通过机械压榨或溶剂萃取等方法制备得到。关于花生制油前人做了许多的研究,如:吴克刚等^[6]研究了压榨工艺、脱胶方法、添加天然抗氧化剂对花生油的抗氧化作用,结果表明压榨工艺和脱胶方法都会影响其氧化稳定性,迷迭香提取物和没食子酸对花生油均有较好的抗氧化作用;杨春英等^[7]利用旋转流变仪研究了花生油的流变学特性,结果表明花生油在低温时凝结,发生相变,黏度急剧增大;何东平等^[8]采用柱塞式压榨试验装置研究了花生在冷榨过程中的基本特性和变化规律,并且建立了油料出油率与压榨压力等经验公式和理论计算模型;郭京臣等^[9]利用电子式万能试验机对花生仁进行静压破碎力学特性实验,研究了各种工况对花生仁破碎力的影响;Güzel等^[10]利用花生脱壳机研究其脱壳疲劳行为,得到了花生在最小压力与铁格栅表面时最适合脱壳的结论。

花生出油特性的研究有助于了解其物理变化规律及力学结构,并且对花生榨油有着重要意义。本实验以单颗粒半粒花生为研究对象,利用统计学方法和原位观测-质构仪研究花生仁在不同压距、压速、保压时间及温度下的结构-力学-出油特性,建立相关拟合模型,并分析其作用机理,以期为基于单颗粒花生压榨出油机理与相关机械设计中作业参数设定提供基础参数。

1 材料与方法

1.1 实验材料

花生样品,2020年产,产地浙江,厚度在8.5~10.5 mm之间,长度在15.5~17.5 mm之间,在阴凉干燥处密封储存。

TA.XTC-18型质构仪,Super-eyes数码显微镜,电热控温加热炉,称重秤(Professional Digital Mini Scale,TN-series,0.001 g),游标卡尺。

1.2 实验方法

1.2.1 制样

从大量去壳后的花生中筛选出尺寸相近、圆润饱满的样品,然后手工去除花生红衣,将花生仁两瓣子叶中的一瓣作为实验对象。

1.2.2 单颗粒花生力学特性和出油测试

实验在TA.XTC-18型质构仪下完成。选取直径为12.65 mm的圆柱形探头作为挤压探头,由于花生的形态较大,在圆柱形探头的接触端用双面胶粘结一个直径31.70 mm、厚度1.60 mm的圆形玻璃片。实验开始前调整质构仪称重平台的位置,对准圆柱形探头与称重平台的中心。进行花生力学特性实验时,设置感应力为0.05 N,实验方式为保压测试,测试前速度为1.0 mm/s,测试后速度为1.0 mm/s,然后依次校准传感器和探头高度。通过测量力学实验前后的质量来研究花生的出油情况。通过数码显微镜观测花生被挤压破碎出油的过程。实验装置原理简图见图1。

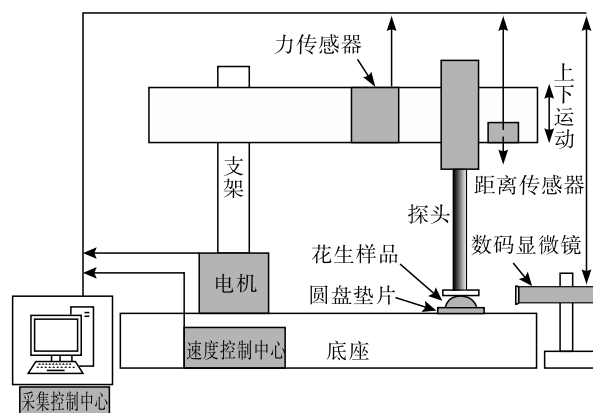


图1 实验装置原理简图

研究在不同的压距、压速、保压时间和温度下单颗粒花生的力学特性和出油情况。研究单个因素的影响时,采取控制变量的原则。为了追求实验的可靠性,每种影响因素下的单个实验做5组重复实验。

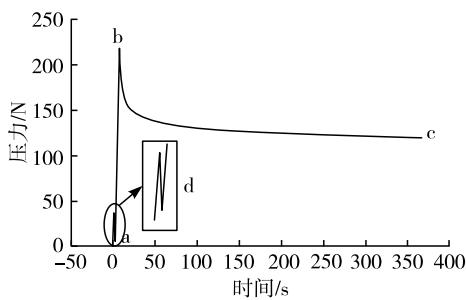
在室温、保压时间360 s、压速0.5 mm/s条件下,设置5个压距梯度(1、2、3、4、5 mm),考察压距对花生力学-出油特性的影响。在室温、压距4 mm、保压时间360 s条件下,设置7个压速梯度(0.1、0.5、1、1.5、2、2.5、3 mm/s),考察压速对花生力学-出油特性的影响。在室温、压距4 mm、压速0.5 mm/s条件下,设置5个保压时间(120、240、360、480、600 s),考察保压时间对花生力学-出油特性的影响。在压速0.5 mm/s、压距4 mm、保压时间360 s下,设置6个温度(15℃(室温)及50、75、100、125、150℃),考察温度对花生力学-出油特性的影响,此时花生样品需要在电热控温加热炉加热30 min到指定温度。

2 结果与分析

2.1 花生受挤压力-时间特征曲线(见图2)

从图2可以看出,花生所受的压力先急剧增大

后下降,然后保持稳定。a点表明圆柱形探头与花生刚接触,b点表明挤压距离最大时的压力达到的最大值,c点表明保压360 s后的压力。曲线从点a到点b并不是光滑的,会出现几段如d区域的波峰。产生这种现象的原因是花生在被挤压的过程中,受到轴向压力的作用不断被压缩,开始压力较小时花生是弹性变形,但由于花生特性较脆,极短时间内压力超出弹性变形的极限力,使花生破碎,压力会突然下降然后增加。d区域的“尖峰”便是花生第一次破碎,随着压力的不断增加可能会发生多次破碎,b点花生表面有着大量的裂纹。在花生被挤压过程中,部分花生细胞被破坏,油液从细胞中析出并不断聚集,当油量达到某一临界值时逐渐成股连续流出^[11]。花生裂纹中也存在部分油液,在保压时间内,油液迅速从裂纹中向四周析出,花生饼周围由于没有约束而自发地扩散导致压力快速减小,随后逐渐趋于稳定点c。



注:挤压条件为室温,保压时间360 s,压速0.5 mm/s,压距4 mm。

图2 压力-时间特征曲线

2.2 压距、压速、保压时间及温度对花生力学特性的影响(见图3~图7)

由图3~图6可以看出,压距对峰值力的影响最大,压距越大,花生饼受到的峰值力越大。压距越大,花生受到破坏的程度越大,裂纹也相应增多(见图7)。温度低于75℃时,温度逐渐升高,花生样品受热变硬,在同一压距时所受的压力变大,所以呈现温度越高峰值力越大的趋势。温度升高会使花生的质地发生改变,由材质变硬趋于材质变脆,使其更加容易破裂,因而在75~100℃时,峰值力急剧下降。当温度升高到一定程度时,花生质地整体变硬,温度

对其影响较小,其所受的压力变化稳定,所以呈现出图6中温度超过100℃时峰值力变化稳定的趋势。压速和保压时间对花生受到的挤压力影响不大,因而其对峰值力的影响不大。

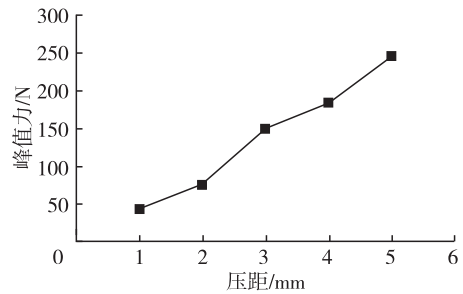


图3 压距-峰值力特性图

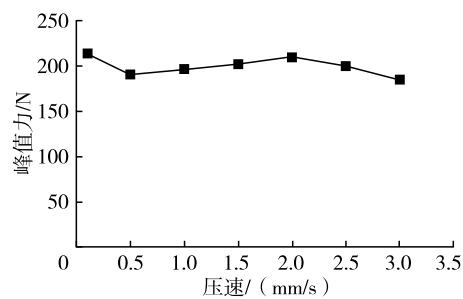


图4 压速-峰值力特性图

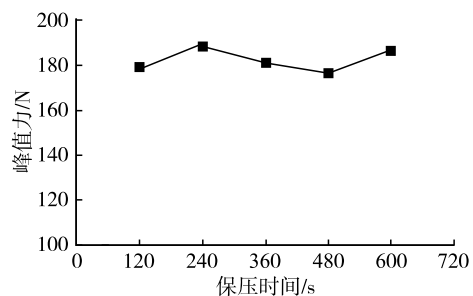


图5 保压时间-峰值力特性图

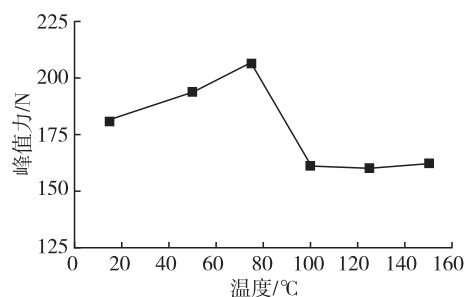


图6 温度-峰值力特性图

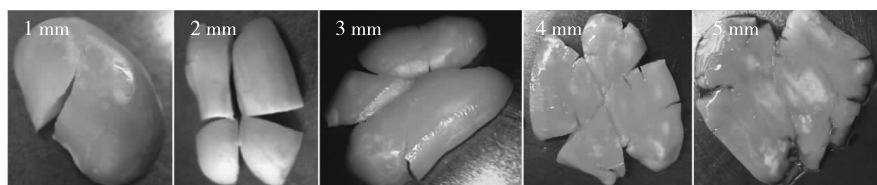


图7 不同压距下花生饼的原位观测图

2.3 压距、压速、保压时间及温度对花生出油的影响

2.3.1 压距对花生出油的影响(见图8)

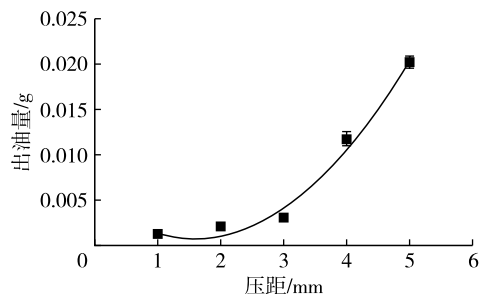


图8 压距-出油量特性图

从图8可以看出:压距为1 mm时花生的出油量几乎为0,随着压距增大,花生的出油量逐渐增大,但增长率较小;随着压距达到3 mm以上时,花生的出油量急剧上升且增长率较大,最大出油量达到0.020 2 g。产生这种现象的原因:在压距较小时,花生受到探头施加的压力较小,虽然能使花生产生裂纹,但由于其质地较硬而不能使其细胞壁内的油脂析出或只有少量的油脂析出,所以出油量较少;而当压距达到3 mm以上时,挤压力能使花生产生大量的裂纹,此时的挤压力能破坏花生的绝大部分细胞,使细胞内的油脂大量析出,并且压距越大,花生被破坏的程度越大,出油量也越大。采用多项式对压距(x)和出油量(y)进行拟合,得到的表达式为 $y = -0.005 44x + 0.001 69x^2 + 0.005 24$ 。

2.3.2 压速对花生出油的影响(见图9)

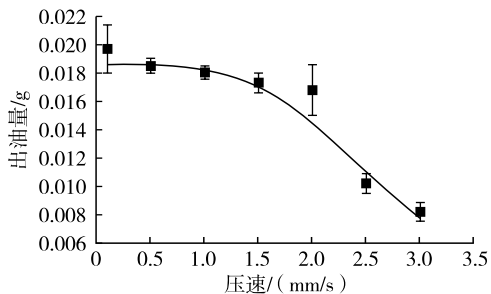


图9 压速-出油量特性图

由图9可以看出,花生的出油量随着压速的增大而减小,在压速为2.0 mm/s前出油量下降的幅度不大,之后出油量急剧减小。在压速为0.1 mm/s时,单颗粒半粒花生的最大出油量平均达到0.019 7 g。花生在挤压的过程中首先出现弹性变形,当挤压力达到一定值时才产生塑性变形使其表面产生裂纹。压速对花生仁的峰值力无显著影响(见图4),但压速较小时,花生大面积破碎的时间延长,花生产生的裂纹变化缓慢,其油液能够较好地流出。压速越小压力提升得越缓慢,导致压力达到相同值时花生的破

坏程度越大,所以出油量越大。增大压速能抑制花生的出油量,由于花生质地较脆,在压速突然增大到一定程度时,花生先出现少许裂纹,然后整体出现区域破碎使花生受挤压不充分,油液析出量较少,所以出现花生出油量迅速降低。采用BiHiLL函数对压速(x)和出油量(y)进行拟合,得到的表达式为 $y = 0.037 16 / (1 + (5.390 28E22/x)^{3.788 82E-7}) / (1 + (x/2.751 48)^{3.893 28})$ 。

2.3.3 保压时间对花生出油的影响(见图10)

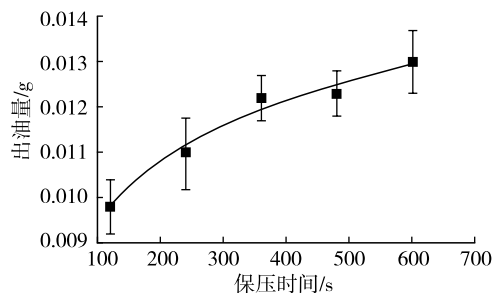


图10 保压时间-出油量特性图

从图10可以看出,保压时间越长越有利于花生出油,在保压时间360 s前花生出油量随着保压时间的延长增加较快,在保压时间超过360 s后花生出油量增长趋于稳定。因此,花生最大出油量的保压时间为600 s,最合适的保压时间为360 s。花生受到挤压使细胞被破坏产生油液,保压时间越长必然会有越多的油液析出,但油液从花生中流出时,会使裂缝中的流体压力减小,探头所施加的恒定挤压力逐渐被油料固相颗粒承担,由达西定律^[12]可知此时油液流速减小,出油量变化保持稳定,再延长保压时间意义不大。采用对数函数对保压时间(x)和出油量(y)进行拟合,得到的表达式为 $y = 0.001 77 \ln(0.008 85x) + 0.009 91$ 。

2.3.4 温度对花生出油的影响(见图11)

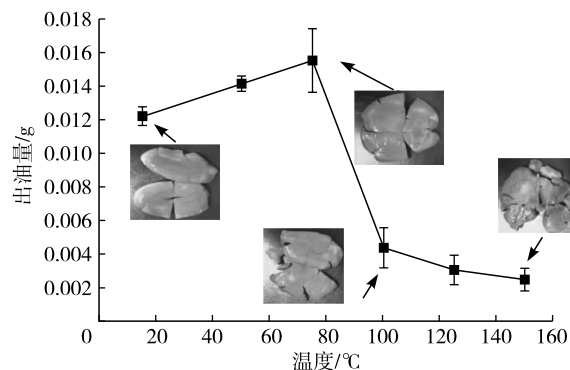


图11 温度-出油量特性图

从图11可以看出:在温度低于75 °C时,温度升高能够促进花生出油;温度处于75 ~ 100 °C时,花生出油量急剧减小;在温度高于100 °C时,花生出油量

随着温度的升高而降低幅度减小,然后趋于稳定。最适合花生出油的温度为 75 ℃。产生的原因是:温度升高能够加剧花生细胞的破坏,在挤压过程中有更多的油液析出,花生出油量逐渐增大;但在温度过高且逐渐升高时,花生受热失去水分,细胞之间的混合液胶着化,即使花生受到的挤压力较大油液也难以析出;在温度达到 150 ℃ 时花生已经完全变硬且变“熟”,整体变黄,此时基本无油液产生。

3 结 论

利用原位观测组合质构仪测试的方式,对单颗粒半粒花生进行不同影响因素下的挤压实验,结果表明:压距等量增长时,花生的峰值力以类线性的方式增大,出油量则以类似指数函数的趋势增长。压距较小时,花生变形量较小,基本不发生损伤,花生会产生些许裂纹,压距越大,花生变形量越大,产生的裂纹和内部的损伤也会增多,最终呈现满布裂纹的花生饼;压速增加对花生的出油量有着抑制作用,压速较小时,出油量的变化率不大;随着保压时间延长,出油量以对数函数的增长趋势增大,但当保压时间超过 360 s 时,出油量增长趋于稳定;峰值力随温度的升高先缓慢升高后急剧降低,再趋于稳定;温度低于 75 ℃ 时,出油量随温度的升高而增大,温度处于 75 ~ 100 ℃ 时,出油量急剧减小,温度高于 100 ℃ 时,出油量小幅度减小后趋于稳定。花生颗粒挤压出油的最优条件为压距 5 mm、压速 0.5 mm/s、保压时间 360 s 和温度 75 ℃。

(上接第 131 页)

- [10] 吴昊,周旋,张椿. AB-8 大孔吸附树脂纯化蛋黄卵磷脂的工艺研究[J]. 中国油脂,2018,43(12):79-83.
- [11] 吴美芳. 油茶果壳提取物的制备、功效及应用[D]. 长沙:长沙理工大学,2019.
- [12] 赵国志,刘喜亮,刘智锋. 油脂稳定度测试方法比较[J]. 粮油食品科技,2007,15(1):25-26.
- [13] 李海琳,刘京晶,朱国华,等. HPLC 法测定“长林”系列油茶籽种仁中 2 个主要黄酮苷含量[J]. 中国粮油学报,2014,29(12):124-128.
- [14] 沈建福,李利敏,吴晓琴. 大孔树脂分离纯化油茶蒎鞣质工艺研究[J]. 中国食品学报,2013,13(7):115-121.
- [15] 刘承毅,吴雪辉. 油茶果壳原花青素的纯化及对 α -淀粉酶活性抑制作用[J]. 2021,42(8):142-146.

参考文献:

- [1] 王瑞元. 我国花生生产、加工及发展情况[J]. 中国油脂,2020,45(4):1-3.
- [2] 张立伟,王辽卫. 我国花生产业发展状况、存在问题及政策建议[J]. 中国油脂,2020,45(11):116-122.
- [3] 程园园,刘大川,刘晔,等. 紫苏籽、花生仁压榨特性的研究[J]. 中国粮油学报,2016,31(5):100-105.
- [4] 李先翠,李保国,姜元荣,等. 花生萌发方法及营养物质变化研究进展[J]. 食品与发酵科技,2020,56(4):55-59,125.
- [5] 杜霖春. 国内外花生生产、加工形势及其对策[J]. 辽宁农业科学,2017(4):76-77.
- [6] 吴克刚,尤腾琦,黄海娟,等. 压榨制取工艺过程对花生油氧化稳定性的影响[J]. 食品研究与开发,2015,36(4):4-7.
- [7] 杨春英,刘学铭,陈智毅,等. 食用植物油流变学特性研究[J]. 中国粮油学报,2013,28(8):24-27.
- [8] 何东平,郑晓,林国强,等. 花生冷榨过程中的基本特性研究[J]. 中国油脂,2007,32(5):19-23.
- [9] 郭京臣,薛强,杨硕,等. 典型品种花生仁力学特性研究[J]. 中国油脂,2020,45(1):108-110.
- [10] GÜZEL E, AKÇALI I D, MUTLU H, et al. Research on the fatigue behavior for peanut shelling[J]. J Food Eng, 2005,67(3):373-378.
- [11] 李昌珠,刘汝宽,杨星星,等. 油料冷态压榨过程中油脂迁移速率影响因素分析[J]. 湖南林业科技,2015,42(1):1-3.
- [12] 郑晓. 油料压榨理论与试验研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2005.
- [16] 李慧娜,田少君. 油料作物中黄酮类化合物的提取方法研究进展[J]. 中国油脂,2017,42(8):111-115.
- [17] 刘力,史娟,张攀,等. 如意草提取物对油脂抗氧化作用研究[J]. 中国油脂,2016,41(9):95-97.
- [18] 许中畅,卢晓霆. 葵盘总黄酮对油脂抗氧化作用研究[J]. 中国油脂,2016,41(2):44-47.
- [19] 南海娟,王正荣,葛亚明,等. 金银花与叶醇提取物对油脂的抗氧化活性比较[J]. 食品与发酵工业,2017,43(6):175-180.
- [20] 刘芳,谢妍祎,吴苏喜,等. 油茶花醇提取物的体外抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂,2021,34(5):132-136.
- [21] 蔡达,刘红芝,刘丽,等. 不同工艺制备核桃油品质比较及相关性分析[J]. 中国油脂,2014,39(3):80-84.