

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.01.027

油菜籽全含油膨化工艺响应面法优化*

李少华¹ 李树君¹ 任嘉嘉¹ 李子明¹ 相海¹ 郭金强²

(1. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083; 2. 浙江新市油脂股份有限公司, 湖州 313201)

【摘要】以油菜籽为原料,采用响应面分析法,研究模孔直径、膨化温度、喂料速度和物料含水率对膨化预榨饼残油质量分数的影响规律,并对参数进行工艺优化。结果表明:喂料速度和物料含水率对膨化预榨饼残油质量分数均具有极显著影响,模孔直径对膨化预榨饼的残油质量分数有显著性影响,而膨化温度则影响不显著。通过频数分析方法,得到所采用的 YJP30 型油菜籽挤压膨化机的优化工艺参数范围:模孔直径 9.3 ~ 10 mm,膨化温度 95.3 ~ 98℃,喂料速度 33.6 ~ 35.1 t/h,物料含水率 8.8% ~ 9.5%,在此参数范围内膨化预榨饼的残油质量分数有 95% 的可能性小于 13.5%。

关键词: 油菜籽 全含油膨化 工艺优化 响应面分析

中图分类号: TS224.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)01-0153-05

Optimization of Whole Fat Rapeseed Expanding with Response Surface Methodology

Li Shaohua¹ Li Shujun¹ Ren Jiajia¹ Li Ziming¹ Xiang Hai¹ Guo Jinqiang²

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Science, Beijing 100083, China

2. Xinshi Oil Stock Limited Company, Huzhou 313201, China)

Abstract

The effect of die diameter, expanding temperature, feed rate, mass moisture content on the pre-pressed cake oil residue of rapeseed and the optimal conditions for lower cake oil residue were studied by response surface methodology. The results showed that pre-pressed cake oil residue was more significantly affected by the feed rate and mass moisture content, the pre-pressing cake oil residue was significantly affected by the die diameter; the pre-pressing cake oil residue was non-significant affected by expanding temperature. By frequency analysis, optimization of process parameters range is as follows: die hole diameter is 9.3 ~ 10 mm, expanding temperature is 95.3 ~ 98℃, feed rate is 33.6 ~ 35.1 t/h, material moisture content is 8.8% ~ 9.5%. Under the condition of the parameters of the above mentioned, the residue oil content of pre-pressed cake is less than 13.5% as a possibility with 95% probability.

Key words Rapeseed, Whole fat expanding, Technology optimization, Response surface methodology

引言

油菜是我国食用植物油和饲用蛋白质的最主要来源之一,其种植面积和总产量居世界首位^[1]。挤压膨化作为一项新兴油料预处理加工技术,已成功应用到油菜籽加工中,油菜籽全含油膨化代替传统

油菜籽生坯湿润蒸炒预榨工艺^[2]中的蒸炒过程,有效地解决了蒸炒工艺中高温、长时间处理带来的缺陷,提高了毛油及粕的品质^[3~6]。

前期研究通过单因素试验和简单正交试验,初步考察了挤压膨化操作参数对膨化预榨饼残油含量的影响,得到了最佳工艺水平组合^[7]。但是正交设

收稿日期: 2011-06-17 修回日期: 2011-08-09

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2010BAD01B07)

作者简介: 李少华,研究员,主要从事油脂加工技术及理论研究,E-mail: lishaohua73@163.com

通讯作者: 李树君,研究员,博士生导师,主要从事农副产品、食品加工技术研究,E-mail: lisj@caams.org.cn

计只能处理离散的水平值,在实际应用中难免会有诸多局限性。考虑到油菜籽实际生产加工的连续性以及各个操作参数的变动,本文通过响应面分析法探求整个区域上因素的最佳组合范围,以期为油菜籽膨化预榨新技术的推广应用提供理论依据和生产数据。

1 材料和方法

1.1 试验材料与设备

1.1.1 试验材料

油菜籽(含水率 7.7%,粗脂肪含量 44.3%,粗蛋白含量 24.1%,产地:加拿大),由浙江新市油脂股份有限公司提供。

1.1.2 试验设备

挤压设备为 YJP30 型油菜籽挤压膨化机。该机属单螺杆闭壁式高含油油料挤压膨化机,螺杆转速为 280 r/min,设计生产能力 800 t/d,配有压力、温度数显仪表,挤压机模孔孔径有级可调。如图 1 所示。

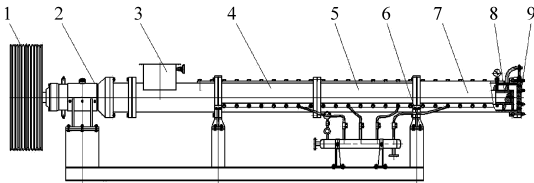


图 1 YJP30 型油菜籽挤压膨化机示意图

Fig. 1 Sketch of YJP30 rapeseed extruding-expander

1.胶带轮 2.轴承箱 3.入料口 4.第 1 段套筒 5.第 2 段套筒 6.支座 7.第 3 段套筒 8.螺旋 9.出料模板

生产试验需要大量试验物料以及配套设备,为了使试验贴近生产实际,试验在浙江新市油脂股份有限公司油脂二分厂进行。除 YJP30 型油菜籽挤压膨化机外,配套的主要设备包括:调质器($\Phi 200 \times 900$,单机配置功率 15 kW),轧胚机(YYPY80 $\times$ 150 型,单机配置功率 110 kW);平板干燥机(BHJ150 型,单机配置功率 5.5 kW);预榨机(ZY24 型,单机配置功率 39.7 kW)。

1.1.3 试验仪器

FA2004 型上皿电子天平,上海精密科学仪器有限公司;DHG-9023A 型电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏试验设备有限公司;DZF-6020 型真空干燥箱,上海精宏试验设备有限公司;SZC-C 型脂肪测定仪,上海嘉定纤检仪器厂;紫外可见分光光度计,上海精密科学仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 油菜籽膨化预榨工艺

油菜籽膨化预榨工艺流程为

菜籽清理→调质→轧坯→挤压膨化→干燥→预榨→预榨饼→浸出
↓
预榨毛油→过滤→精炼

1.2.2 指标分析测定方法

含水率测定:依据 GB/T 5497—1985 进行^[8]。

粗脂肪含量测定:依据 GB/T 5512—2008 进行^[9]。

1.2.3 优化试验设计

在前期单因素试验的基础上,试验采用二次正交旋转组合设计方法,选取模孔直径、膨化温度、喂料速度和物料含水率等 4 个可控操作变量组成操作参数集合,进行多因素试验,分析它们对膨化预榨饼残油质量分数的影响^[10]。各变量的水平见表 1。

表 1 各变量水平编码

Tab. 1 Actual value and code of variable

水平	因素			
	模孔直径	膨化温度	喂料速度	物料含水率
	x_1/mm	$x_2/^{\circ}\text{C}$	$x_3/\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$	$x_4/\%$
-2	6	85	25	5.5
-1	8	90	29	7.5
0	10	95	33	9.5
1	12	100	37	11.5
2	14	105	41	13.5

1.2.4 统计分析

应用 DPSV 7.55 对试验数据进行处理分析,应用 STATISTICA 6.0 进行响应面分析。

2 结果与讨论

固定膨化料干燥和预榨的工艺操作参数,变动挤压膨化机的模孔直径、膨化温度、喂料速度和物料含水率的操作参数,测定膨化预榨饼的残油含量,试验设计方案及结果见表 2。 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 为编码值。

2.1 回归方程及其参数分析

对表 2 中的试验数据进行分析(表 3),得到各个因素之间与膨化预榨饼残油质量分数的多元二次回归方程为

$$Y = 12.71 + 0.14X_1 - 0.095X_2 - 0.23X_3 + 0.17X_4 + 0.27X_1^2 + 0.2X_2^2 + 0.31X_3^2 + 0.29X_4^2 + 0.032X_1X_2 + 0.016X_1X_3 + 0.0094X_1X_4 + 0.0069X_2X_3 + 0.021X_2X_4 + 0.019X_3X_4$$

该方程的决定系数 $R^2 = 0.91$,说明该方程的拟合精度较高。依据回归分析方法建立的 YJP30 型油菜籽挤压膨化机操作参数的统计模型,可用于挤压过程的控制和膨化预榨饼残油质量分数的预测。

表 2 试验设计方案和结果

Tab.2 Scheme of test designing and test result					
试验 序号	X_1	X_2	X_3	X_4	膨化预榨饼残油质 量分数(干基)Y/%
1	1	1	1	1	13. 91
2	1	1	1	-1	13. 42
3	1	1	-1	1	14. 35
4	1	1	-1	-1	14. 03
5	1	-1	1	1	14. 06
6	1	-1	1	-1	13. 89
7	1	-1	-1	1	14. 45
8	1	-1	-1	-1	14. 16
9	-1	1	1	1	13. 65
10	-1	1	1	-1	13. 23
11	-1	1	-1	1	13. 87
12	-1	1	-1	-1	13. 74
13	-1	-1	1	1	13. 79
14	-1	-1	1	-1	13. 52
15	-1	-1	-1	1	14. 42
16	-1	-1	-1	-1	14. 12
17	-2	0	0	0	13. 16
18	2	0	0	0	13. 85
19	0	-2	0	0	13. 26
20	0	2	0	0	13. 23
21	0	0	-2	0	14. 16
22	0	0	2	0	13. 21
23	0	0	0	-2	13. 19
24	0	0	0	2	13. 98
25	0	0	0	0	12. 67
26	0	0	0	0	12. 73
27	0	0	0	0	12. 61
28	0	0	0	0	12. 66
29	0	0	0	0	12. 81
30	0	0	0	0	12. 59
31	0	0	0	0	12. 71
32	0	0	0	0	12. 75
33	0	0	0	0	12. 63
34	0	0	0	0	12. 87
35	0	0	0	0	12. 79
36	0	0	0	0	12. 69

方差分析结果表明喂料速度和物料含水率以及各因素的二次项对膨化预榨饼残油质量分数均具有极显著影响,模孔直径对膨化预榨饼残油质量分数有显著性影响,而膨化温度则影响不显著。

表 3 响应面回归方程各项系数检验

Tab.3 Significance test of regression coefficient				
方程项	回归系数	标准差	t 检验值	显著水平
X_1	0. 14 * * *	0. 828 1	2. 862 7	0. 009 0
X_2	-0. 095 *	0. 828 1	1. 963 2	0. 062 4
X_3	-0. 23 * * *	0. 828 1	4. 817 2	0. 000 1
X_4	0. 17 * * *	0. 828 1	3. 433 5	0. 002 4
X_1^2	0. 27 * * *	0. 956 2	6. 398 8	0. 000 1
X_2^2	0. 20 * * *	0. 956 2	4. 840 9	0. 000 1
X_3^2	0. 31 * * *	0. 956 2	7. 477 4	0. 000 1
X_4^2	0. 29 * * *	0. 956 2	6. 878 2	0. 000 1
$X_1 X_2$	0. 032	0. 676 1	0. 540 2	0. 594 5
$X_1 X_3$	0. 016	0. 676 1	0. 264 8	0. 793 6
$X_1 X_4$	0. 009	0. 676 1	0. 158 9	0. 875 2
$X_2 X_3$	0. 006	0. 676 1	0. 116 5	0. 908 3
$X_2 X_4$	0. 021	0. 676 1	0. 349 5	0. 730 0
$X_3 X_4$	0. 019	0. 676 1	0. 328 4	0. 745 7

注: * * * 0.01 水平上显著; * * 0.05 水平上显著; * 0.1 水平上显著。

2.2 各工艺参数的效应分析

图 2 为模孔直径、膨化温度、喂料速度和物料含水率对膨化预榨饼残油质量分数影响的响应面分析图。

X_2 处于较低或较高的水平时,膨化预榨饼的残油质量分数都随模孔直径的增大,呈现出先降低后增大的趋势,在膨化温度为 95℃ 左右,模孔直径为 9 ~ 10 mm 时,残油质量分数最低。有可能是因为随着膨化机模孔直径增大,易于模板泄压,导致挤压机腔内的压力相对减小,物料在机腔内受到的挤压力减弱,影响其对油脂细胞的破坏程度,膨化效果降低,导致预榨饼残油升高。当模孔直径变小时,膨化机机腔内压力相对升高,同时蒸汽喷入量增加,过度的湿热作用导致物料可塑性差,在预榨机里面不能建立较好的榨膛压力,也不利于预榨饼残油残油的降低。所以模孔直径太小或太大,都影响膨化效果,从而影响预榨饼的残油质量分数。

随 X_3 和 X_1 水平的升高,膨化预榨饼残油质量分数呈现出先降低后升高的趋势,在 X_3 和 X_1 的水平达到最大时,残油质量分数为最高。有可能是因为喂料速度增加时,物料在膨化机内停留的时间短,同时模孔直径增大时,物料容易挤出,不利于机腔内压力的形成,膨化效果变差,导致预榨饼残油升高。

随 X_4 和 X_1 水平的升高,膨化预榨饼残油质量分数呈现出先略微降低后明显升高的趋势,在 X_4 和 X_1 的水平达到最大时,残油质量分数为最高。有可能

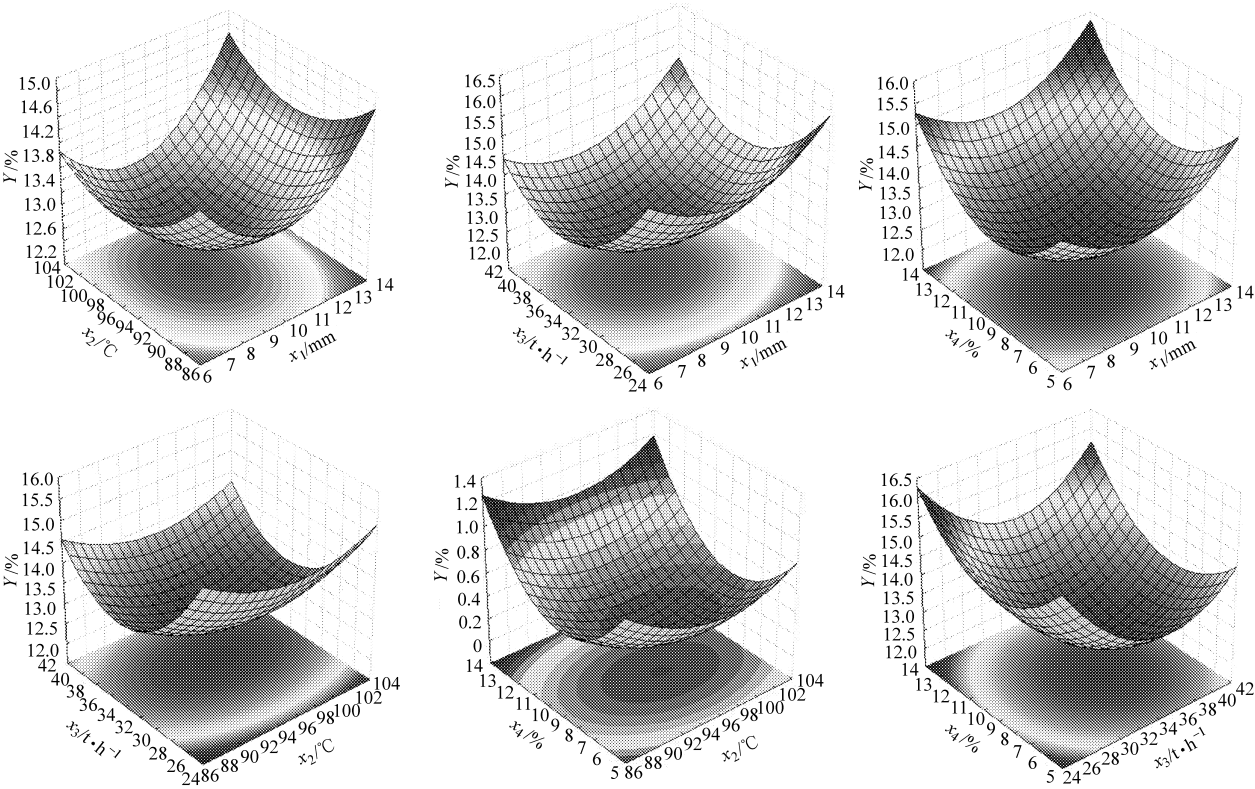


图 2 各因素对膨化预榨饼残油质量分数的影响

Fig. 2 Response surface about the impact of four facts on the residue oil content of expansion-pre-pressed cakes

是因为水分在挤压过程中起到了润滑剂的作用,在一定程度上降低物料黏度,减少物料与机筒和螺杆间摩擦,因而随着物料含水率的增加,膨化机机腔内压力下降,同时随着模孔直径增大,易于模板泄压,导致挤压机机腔内的压力相对减小,膨化效果差,导致了预榨饼残油偏高。

当 X_2 处于较低或较高水平时,膨化预榨饼残油质量分数随 X_3 水平的逐渐增加,呈现出先明显减小后明显升高的趋势,而无论 X_3 处于较低或较高水平, X_2 对产品残油质量分数的影响变化不明显。有可能是因为当喂料速度小时,即物料喂入量少时,物料在膨化机内未经过充分混合,机腔内压力小,膨化作用不彻底,不利于预榨饼残油率的降低;当喂料速度大时,即物料喂入量多时,负载电流加大,即膨化机负荷加大,物料在机腔内停留时间短,膨化作用不彻底,物料在机腔内没有受到完全的破坏而被挤压出来,致使油料坯内的油脂从细胞内释放速度减慢,从而影响膨化效果,也不利于预榨饼残油质量分数的降低。

膨化预榨饼的残油质量分数随 X_2 和 X_4 水平的增加,呈现出显著性增加的趋势,当 X_2 和 X_4 的水平达到最大时,膨化预榨饼的残油质量分数为最大。有可能是因为膨化温度增加和原料含水率过高时,物料出模孔的瞬间“闪失”出的水分主要是细胞之间的自由水,而细胞内的结合水则因阻力较大而蒸

发较少,不利于细胞壁的破坏,其次由于水分蒸发而在膨化物组织内形成的毛细孔道将被水分占据,预榨时,首先挤出的是毛细孔道中的水分和油,组织内的油脂挤出时受到较大的阻力,不利于预榨出油,因此含水率较大时,也不利于预榨饼残油质量分数的降低。

当 X_3 处于较低或较高水平时,膨化预榨饼残油质量分数随 X_4 水平的增加,呈现出先略微降低后明显升高的趋势;当 X_4 处于较低或较高水平时,膨化预榨饼残油质量分数随 X_3 水平的增加,呈现出先降低后明显升高的趋势。有可能是因为当喂料速度大时,膨化机负荷加大,物料在机腔内停留时间短,同时随着物料含水率的增加,膨化机机腔内压力下降,膨化作用不彻底,物料在机腔内没有受到完全的破坏而被挤压出来,膨化效果差,不利于预榨饼残油质量分数的降低。

2.3 挤压膨化工艺参数的优化

考虑到生产企业的实际情况,选取膨化预榨饼残油质量分数小于 13.5%,根据上述回归方程,应用频数分析法,进行计算机模拟,寻找操作参数的最优组合方案。结果表明(表 4),共有 54 个方案满足要求。由表 4 可知,当模孔直径为 9.3 ~ 10 mm,膨化温度为 95.3 ~ 98℃,喂料速度为 33.6 ~ 35.1 t/h,物料含水率 8.8% ~ 9.5% 时,膨化预榨饼的残油质量分数有 95% 的可能性小于 13.5%,产品达到满意

表 4 应用频数分析法优化工艺参数的结果

Tab.4 Process parameters optimization result based on frequency analysis

编码	模孔直径		膨化温度		喂料速度		物料含水率	
	频数	频率	频数	频率	频数	频率	频数	频率
-2	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	19	0.351 9	11	0.203 7	6	0.111 1	19	0.351 9
0	25	0.463 0	20	0.370 4	25	0.463 0	26	0.481 5
1	10	0.185 2	19	0.351 9	22	0.407 4	9	0.166 7
2	0	0	4	0.074 1	1	0.018 5	0	0
加权平均数	-0.167		0.296		0.333		-0.185	
标准误差	0.097		0.119		0.094		0.095	
95% 置信区间	-0.357 ~0.024		0.063 ~0.59		0.148 ~0.518		-0.371 ~0	
操作参数的取值	9.3 ~10 mm		95.3 ~98℃		33.6 ~35.1 t/h		8.8% ~9.5%	

的效果。取优化工艺参数范围的上限(模孔直径 10 m,膨化温度 98℃,喂料速度 35.1 t/h,物料含水率 9.5%)进行验证试验,试验表明在该工艺条件下膨化预榨饼的残油质量分数为 12.97%,小于 13.5%。

3 结论

(1) 二次正交旋转组合试验表明,喂料速度和物料含水率对膨化预榨饼残油质量分数均具有极显

著影响,模孔直径对膨化预榨饼的残油质量分数有显著性影响,而膨化温度则影响不显著。

(2)通过频数分析,得到所采用的 YJP30 型油菜籽挤压膨化机的优化工艺参数范围为:模孔直径 9.3 ~10 mm,膨化温度 95.3 ~98℃,喂料速度 33.6 ~35.1 t/h,物料含水率 8.8% ~9.5%,在此参数范围内膨化预榨饼的残油质量分数有 95% 的可能性小于 13.5%。

参 考 文 献

1 刘大川. 中国油菜籽加工业的现状[J]. 中国油脂,2004,29(5):5~9.
Liu Dachuan. Present situation of China rapeseed processing industry [J]. China Oils and Fats, 2004, 29(5):5~9. (in Chinese)

2 刘玉兰,汪学德,马传国,等. 油脂制取与加工工艺学[M]. 2 版. 北京:科学出版社,2009.

3 李少华,周海军,李树君,等. 油菜籽全含油膨化预榨制油新技术[C]//中国农业机械学会 2008 年学术年会论文集, 988~991.
Li Shaohua, Zhou Haijun, Li Shujun, et al. Whole fat expanded pre-pressing extracting new technology of rapeseed [C]// Proceedings of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008: 988~991. (in Chinese)

4 Josefsson E. Effects of variation of heat treatment conditions on the nutritional value of low-glucosinolate rapeseed meal [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1975, 26(2):157~164. (in Chinese)

5 张敏,申德超,张兆国. 挤压膨化预处理对菜籽料坯性状的影响试验[J]. 农业机械学报,2006, 37(3):72~75.
Zhang Min, Shen Dechao, Zhang Zhaoguo. Effects of the extruding-expansion pretreatment on properties of rapeseed cakes [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(3):72~75. (in Chinese)

6 申德超,张兆国,张敏,等. 菜籽挤压膨化系统参数对出油率影响的试验研究[J]. 农业工程学报,2004,20(6):186~189.
Shen Dechao,Zhang Zhaoguo,Zhang Min, et al. Experimental study on the effects of the parameters of the extrusion expand on system on solvent extraction of oil from rapeseed[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(6):186~189. (in Chinese)

7 李少华,李树君,任嘉嘉,等. 全含油膨化对油菜籽预榨饼残油的研究[J]. 农产品加工,2009(10):48~51.
Li Shaohua, Li Shujun, Ren Jiajia, et al. Study on whole fat expanding on the pre-pressing cake oil residue of rapeseed [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2009 (10):48~51. (in Chinese)

8 卢艳杰,龚院生,张连富. 油脂检测技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

9 GB/T 5512—2008 粮油检验 粮食中粗脂肪含量测定[S]. 2008.
GB/T 5512—2008 Inspect of groin and oilseeds—determination of crude fat content in grain[S]. 2008. (in Chinese)

10 任露泉. 实验优化设计与分析[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2003.