

# 米糠油制备甘二酯工艺优化

## Optimization of process for diacylglycerol preparation from rice bran oil

王霞<sup>1</sup> 程娟<sup>1</sup> 易伟民<sup>1</sup> 赵忠杉<sup>2</sup> 鹿保鑫<sup>1</sup>

WANG Xia<sup>1</sup> CHENG Juan<sup>1</sup> YI Wei-min<sup>1</sup> ZHAO Zhong-shan<sup>2</sup> LU Bao-xin<sup>1</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 天津龙威粮油工业有限公司, 天津 300461)

(1. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;

2. Tianjin Longwit Oils and Grains Industrial Co., LTD, Tianjin 300461, China)

**摘要:**采用响应面法优化米糠油制备甘二酯的工艺条件。在反应温度、反应时间、固定化脂肪酶添加量及反应物质量比 4 个单因素试验的基础上,通过四元二次回归正交旋转组合设计结构矩阵的建立,构建以甘二酯产率为响应值的二次回归模型并进行分析。结果表明:当温度为 26 °C、反应时间为 10 h、固定化脂肪酶添加量为 8.5% 及反应物质量比为 14:1 时,甘二酯产率理论为 60.36%,实际为 58.31%,相对误差为 3.4%。

**关键词:**米糠油;甘二酯;酶法

**Abstract:** Technology conditions for diacylglycerol preparation from rice bran oil were optimized by response surface methodology. On the basis of four single factor experiments, for reaction temperature, reaction time, immobilized lipase addition quantity and reactants weight ratio were chosen as influence factors, through four-factor quadric orthogonal regression test and structure matrix constructing, quadratic regression model with diacylglycerol yield as response value was set up and analyzed. The results showed that optimal preparation conditions were reaction temperature 26 °C, reaction time 10 h, immobilized lipase addition 8.5% and reactant weight ratio 14:1. Under these optimized conditions, the theoretical yield was 60.36%, practical yield was 58.31% with relative error 3.4%.

**Keywords:** rice bran oil; diacylglycerol; enzymatic

甘二酯(diacylglycerol, DAG)是脂肪代谢过程中的中间产物,经过研究发现,长期摄入高含量的甘二酯不仅可以抑制动脉硬化,而且还可以抑制高血压及肝脏的脂肪堆积<sup>[1]</sup>,且作为油脂中的天然组分,因其在控制体重的增长与缓解糖尿病人肾脏衰竭等方面的完美生理功能而越发被人们所关注<sup>[2]</sup>。

甘二酯是一种二酯的产物,是经甘油的两个羟基与脂肪

酸进行酯化而合成的,经过动物与人体试验认证后<sup>[3]</sup>,被认定为安全可食用的油脂。另外甘二酯作为一种多功能的食品添加剂<sup>[4]</sup>在食品行业中,与其他普通油脂相比,口感风味好,同时也便于人体吸收,抑制肥胖<sup>[5]</sup>;此外,在医药行业中,甘二酯可以促进人体对药物的吸收<sup>[6]</sup>;在化工行业中,具有良好的乳化作用及稳定作用<sup>[7]</sup>。

甘二酯虽然可以从食物中获得,但天然油脂中甘二酯含量相对较低<sup>[4]</sup>,即使食用了,也达不到预防与控制的目的。目前,市售甘二酯类产品较少,且价格高,具有较大的市场潜力,因此规模化生产甘二酯,应用前景相当可观。在甘二酯工业化进程中,酶工程已成为研究重点<sup>[8]</sup>,固定化脂肪酶催化反应后还能回收,重复利用。米糠是大米加工的副产品,每年中国米糠产量超过 1 000 万 t,但米糠有效利用率尚不足 20%,近年来米糠已成为重要的油料资源之一<sup>[9]</sup>。米糠油是一种营养丰富的植物油,食后吸收率达 90% 以上,就脂肪酸组成而言,饱和脂肪酸占 15%~20%,不饱和脂肪酸占 80%~85%<sup>[10]</sup>。所以,以米糠油为原料研究酶法制备米糠油甘二酯的制备方法,制取高纯度的富含甘二酯产品具有一定的经济利益与社会效益。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

硅藻土固定化脂肪酶:酶活为 2 206.67 U/g,黑龙江八一农垦大学食品学院实验室自制;

米糠油:市售食用油;

油酸甘油一酯:上海千为油脂有限公司;

正己烷、异丙醇、三氯甲烷、冰乙酸:分析纯,南京化学试剂有限公司;

异辛烷、丁酮、丙酮:分析纯,北京康倍斯科技有限公司;

甘油:分析纯,上海化学试剂有限公司;

**基金项目:**黑龙江省农垦总局技术开发项目(编号:HNK13KF-14)

**作者简介:**王霞(1971-),女,黑龙江八一农垦大学副教授,硕士。

E-mail: wangxia71@163.com

**收稿日期:**2014-09-15

高效液相色谱仪:Waters FS525型,美国Waters公司;

酸度计:DELTA 320型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

电热恒温水浴锅:DK-S24型,上海森信实验仪器有限公司;

电子天平:AR2140型,梅特勒—托利多仪器有限公司;

旋转蒸发器:RE52-98型,上海亚荣生化仪器厂;

恒温水浴振荡器:SHY-2型,江苏金坛环宇科学仪器厂;

精密定时电动搅拌器:JJ-1型,江苏金坛荣华仪器制造有限公司;

低速大容量离心机:LD4-40型,北京京立离心机有限公司。

## 1.2 试验方法

1.2.1 甘二酯的制备 准确称取105 g米糠油于150 mL锥形瓶中,按试验设定的反应物质量比(米糠油与油酸甘油一酯质量比)、酶添加量(以米糠油质量计算,%)加入油酸甘油一酯和固定化脂肪酶,充分混匀后置于预先设定温度的恒温水浴振荡器,在160 r/min条件下反应一定时间后取出,取2 mL样品,10 mL正己烷和异丙醇混合液(9:1,V:V)溶解,将溶解后的样品置于离心机中,4 000 r/min离心20 min,取上清液于-4℃冰箱中保存待测。

1.2.2 甘油二酯含量测定 采用高效液相色谱分析甘油酯的组成和含量<sup>[11]</sup>。取溶解后的待测样10 μL作为进样量,硅胶色谱柱(Waters Spherisorb Silica, 5.0 μm, 50.00 mm×4.60 mm),蒸发光散射检测器(ELSD),N<sub>2</sub>压力为3.0×10<sup>6</sup> Pa,漂移管温度为75℃的色谱条件。检测过程中的流动相为:A:正己烷和异丙醇(99:1,V:V),B:正己烷、异丙醇和冰乙酸(1:1:0.01,V:V:V)的混合液;流速为1.0 mL/min。洗脱梯度为:0 min,100% A;10 min,80% A;14 min,70% A;15 min,100% A;20 min,100% A。出峰顺序依次为甘油三酯(TGA)、游离脂肪酸(FFA)、1,3-甘油二酯(1,3-DAG)、1,2-甘油二酯(1,2-DAG)、1(3)-甘油一酯(1(3)-MG)、2-甘油一酯。采用面积归一化法对DAG定量,通过DAG的含量按式(1)得出DAG产率<sup>[12]</sup>。

$$R = \frac{m_{1,2-DAG} + m_{1,3-DAG}}{m_{\text{米糠油}} + m_{\text{油酸甘油一酯}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

R——DAG产率,%;

$m_{1,2-DAG}$ ——混合待测样中1,2-DAG质量,g;

$m_{1,3-DAG}$ ——混合待测样中1,3-DAG质量,g;

$m_{\text{米糠油}}$ ——反应物中米糠油的质量,g;

$m_{\text{油酸甘油一酯}}$ ——反应物中油酸甘油一酯的质量,g。

1.2.3 单因素试验设计 选择对DAG产率影响的4个主要因素:反应温度、反应时间、固定化脂肪酶添加量、反应物质量比,以产率为指标,进行单因素试验,以此确定各因素最佳范围值。

(1) 反应温度对DAG产率的影响:试验反应温度分别为15,18,21,24,27,30,33℃,反应时间为12 h,固定化脂肪酶添加量为10%,反应物质量比值为15,每组试验重复进行3次,取平均值。

(2) 反应时间对DAG产率的影响:在反应温度设定为30℃,反应时间分别为4,6,8,10,12,14,16,18 h,固定化脂肪酶添加量为10%,反应物质量比值为15时,每组试验重复进行3次,取平均值。

(3) 固定化脂肪酶添加量对DAG产率的影响:反应温度设定为30℃,反应时间为12 h,固定化脂肪酶添加量分别为2%,4%,6%,8%,10%,12%,14%,反应物质量比值为15,每组试验重复进行3次,取平均值。

(4) 反应物质量比对DAG产率的影响:在反应温度为30℃,反应时间为12 h,固定化脂肪酶添加量为10%,反应物质量比值分别为5,10,15,20,25,30,35的条件下,每组试验重复进行3次,取平均值。

1.2.4 米糠油甘二酯制备反应条件优化试验 通过单因素试验确定各因素范围,以DAG产率为响应值,进行四元二次正交旋转组合设计。采用Design-Expert V8.0.6软件对试验数据进行分析并优化出最佳的固定化条件。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

2.1.1 反应温度对DAG产率的影响 由图1可知,温度在18~27℃时DAG产率随着温度的上升而明显增加,但超过27℃后DAG产率有所下降;温度对甘二酯的产率的影响主要是通过影响酶的活力来实现的,温度高酶活力高,在单位时间内生成的甘油二酯相对较多,温度过高使酶活力下降,因此在27℃以后DAG产率下降。由此选择18~30℃的反应温度值为优化组合范围值。

2.1.2 反应时间对DAG产率的影响 由图2可知,在10~14 h内DAG产率增加相对较快,在14~18 h内DAG产率相对平稳,即随着时间的延长,单位时间内生成的DAG增多,反应进行14 h后,DAG产率达到了一个相对较稳定的水

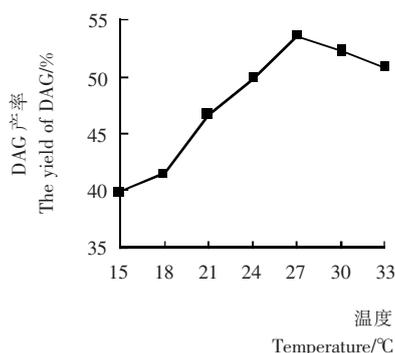


图1 温度对DAG产率的影响

Figure 1 The influence of temperature on the yield of DAG

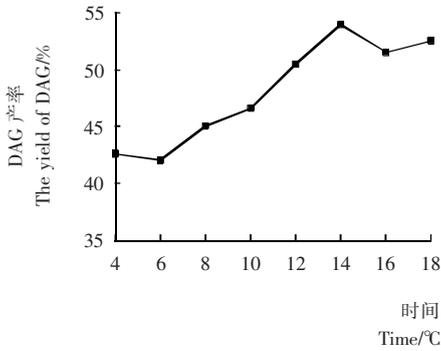


图 2 反应时间对 DAG 产率的影响

Figure 2 The influence of time on the yield of DAG

平。随着反应时间的延长,底物的量减少,DAG 产率不会继续增加,维持在一定的范围内。因此选择 4~16 h 为优化组合范围值。

2.1.3 固定化脂肪酶添加量对 DAG 产率的影响 由图 3 可知,在底物米糠油质量不变的情况下,当固定化脂肪酶添加量在 2%~8% 范围内增长时 DAG 产率不断增多,超过 8% 后 DAG 产率有下降趋势,由于固定化脂肪酶的添加量过多,在脂肪酶的作用下,生产大量的脂肪酸,使整个体系中的酸价升高,影响固定化脂肪酶的活性,所以固定化脂肪酶添加过多会降低 DAG 产率,选择 4%~12% 固定化脂肪酶添加量为优化组合范围值。

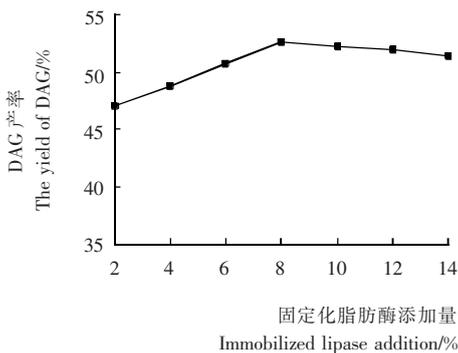


图 3 固定化脂肪酶添加量对 DAG 产率的影响

Figure 3 The influence of the amount of immobilized lipase on the yield of DAG

2.1.4 反应物质量比对 DAG 产率的影响 由于反应过程中固定化脂肪酶首先对米糠油中的甘油三酯酶解,生成甘油二酯和游离脂肪酸,然后游离脂肪酸在和油酸甘油酯结合生成甘油二酯,米糠油的含量升高时酶解后生成的游离脂肪酸相对较多,所以在 5~10(m/m) 内 DAG 产率呈上升趋势较大,当米糠油和油酸甘油酯比例达到 10~15(m/m) 时 DAG 产率上升较缓慢(见图 4),超过 15(m/m) 后,过多的米糠油中甘油三酯和固定化的脂肪酶结合,使 DAG 产率有减慢的趋势,为了保证 DAG 的产率,反应物的质量比应该控制

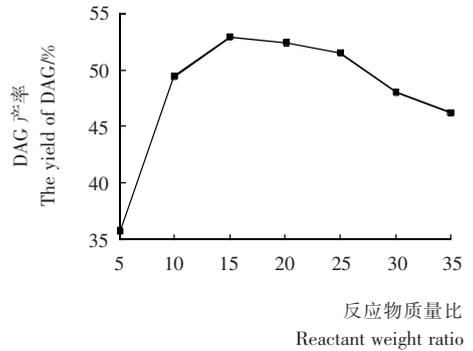


图 4 反应物质量比对 DAG 产率的影响

Figure 4 The influence of ratio of reactant weight on the yield of DAG

在一定的范围内,由此选择反应物质量比 5~25 为优化组合范围值。

## 2.2 响应面试验结果分析

2.2.1 模型的建立与显著性检验 试验因素水平编码见表 1,具体实施方案见表 2。

表 1 因素水平与编码

Table 1 Codes and levels of factors

编码	X <sub>1</sub> 反应温度/°C	X <sub>2</sub> 反应时间/h	X <sub>3</sub> 固定化脂肪酶添加量/%	X <sub>4</sub> 反应物质量比
+2	30	16	12	25
+1	27	13	10	20
0	24	10	8	15
-1	21	7	6	10
-2	18	4	4	5
Δj	3.0	3.0	2.0	5.0

对表 2 中试验数据进行四元二次回归拟合,得到 DAG 产率(R)与反应温度、反应时间、固定化脂肪酶添加量和反应物质量比值编码值的二次回归方程:

$$R = -263.90877 + 18.90056X_1 + 8.15921X_2 + 2.88438X_3 + 3.75108X_4 - 0.03944436X_1X_2 + 0.13458X_1X_3 - 0.16167X_1X_4 - 0.13687X_2X_3 + 0.059917X_2X_4 + 0.089875X_3X_4 - 0.33683X_1^2 - 0.33461X_2^2 - 0.36036X_3^2 - 0.034058X_4^2 \quad (2)$$

该模型的决定系数  $R^2 = 0.9497$ , 校正  $R^2 = 0.9162$ , 说明该模型能解释 91.62% 响应值的变化,与实际试验拟合良好,试验误差小,说明应用四元二次回归正交旋转组合试验优化反应温度、反应时间、固定化脂肪酶添加量和反应物质量比对 DAG 产率影响是可行的<sup>[13]</sup>。

表2 响应面结构矩阵及试验结果

Table 2 Response surface structure matrix and results of tests

试验号	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	DAG 产率/%
1	-1	-1	-1	-1	44.60
2	1	-1	-1	-1	54.24
3	-1	1	-1	-1	47.10
4	1	1	-1	-1	56.20
5	-1	-1	1	-1	43.94
6	1	-1	1	-1	58.22
7	-1	1	1	-1	43.90
8	1	1	1	-1	54.12
9	-1	-1	-1	1	47.98
10	1	-1	-1	1	48.15
11	-1	1	-1	1	53.64
12	1	1	-1	1	52.11
13	-1	-1	1	1	51.01
14	1	-1	1	1	53.60
15	-1	1	1	1	53.24
16	1	1	1	1	56.45
17	-2	0	0	0	41.29
18	2	0	0	0	53.09
19	0	-2	0	0	45.19
20	0	2	0	0	49.35
21	0	0	-2	0	52.23
22	0	0	2	0	54.87
23	0	0	0	-2	54.35
24	0	0	0	2	57.47
25	0	0	0	0	57.26
26	0	0	0	0	59.37
27	0	0	0	0	60.53
28	0	0	0	0	57.87
29	0	0	0	0	56.83
30	0	0	0	0	62.36
31	0	0	0	0	57.38
32	0	0	0	0	59.68
33	0	0	0	0	61.32
34	0	0	0	0	59.57
35	0	0	0	0	57.45
36	0	0	0	0	63.58

由表3可知,模型的  $F=28.33$ ,对应的  $P<0.0001$ ,远小于  $0.01$ ,说明所建立的回归模型极显著; $X_1$  和  $X_2$  因素一次项、交互项  $X_1X_4$  和  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  及  $X_4$  因素二次项对应  $P<0.01$ ,对试验的结果影响是极显著的; $X_4$  因素的一次项和交

表3 方差分析

Table 3 The analysis of variance

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	1 078.70	14	77.05	28.33	$<0.0001$
$X_1$	211.70	1	211.70	77.84	$<0.0001$
$X_2$	22.70	1	22.70	8.35	0.0088
$X_3$	10.32	1	10.32	3.80	0.0649
$X_4$	16.83	1	16.83	6.19	0.0213
$X_1X_2$	2.02	1	2.02	0.74	0.3989
$X_1X_3$	10.43	1	10.43	3.84	0.0636
$X_1X_4$	94.09	1	94.09	34.60	$<0.0001$
$X_2X_3$	10.79	1	10.79	3.97	0.0595
$X_2X_4$	12.92	1	12.92	4.75	0.0408
$X_3X_4$	12.92	1	12.92	4.75	0.0408
$X_1^2$	294.07	1	294.07	108.13	$<0.0001$
$X_2^2$	290.20	1	290.20	106.70	$<0.0001$
$X_3^2$	66.49	1	66.49	24.45	$<0.0001$
$X_4^2$	23.20	1	23.20	8.53	0.0082
残差	57.11	21	2.72		
失拟	4.41	10	0.44	0.092	0.9996
纯误差	52.70	11	4.79		
总变异	1 135.81	35			

互项  $X_2X_4$ 、 $X_3X_4$  达到了显著水平。失拟项的  $F=0.092$ ,对应的  $P=0.9996$ ,远大于  $0.05$ ,这说明该模型拟合程度较好,试验误差小,所建立模型是可行的,可以用此模型对生产 DAG 的工艺条件进行优化。

2.2.2 响应面分析 由表3可知,交互项  $X_2X_4$ 、 $X_3X_4$  对 DAG 产率交互作用显著;交互项  $X_1X_4$  对 DAG 产率交互作用极显著,采用降维分析法,找出在其它因素条件固定不变情况下,某两个因素对 DAG 产率的影响,即反应时间与反应物质量比交互作用、固定化脂肪酶添加量与反应物质量比交互作用、反应温度与反应物质量比交互作用对 DAG 产率的影响。图5~7是 Design-Expert 8.0.6 软件作出的等高线图及响应曲面图,对这些上述交互项之间的交互效应进行分析。

由图5可知,当反应温度固定为  $24\text{ }^\circ\text{C}$ ,固定化脂肪酶添加量为  $8\%$ ,要提高 DAG 产率米糠油和油酸甘油的质量比值应控制在  $9\sim 21$ ,比值过高或过低,DAG 产率都降低;米糠油和油酸甘油酯质量比一定,增加反应时间可以增加 DAG 产率,仅就 DAG 产率而言,反应时间在  $7\sim 13\text{ h}$ ,米糠油和油酸甘油酯质量比在  $9\sim 21$  范围内存在显著增效作用,DAG 产率随着两因素水平的增加而升高。反应时间在交互作用中起了更为重要的作用。

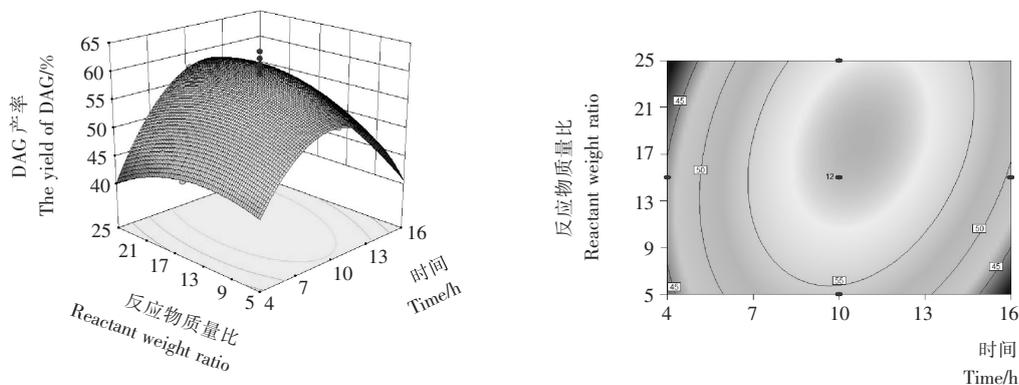


图 5 时间和反应物质量比值对 DAG 产率影响的三维曲面和等高线图

Figure 5 Surface and contour plots mutual-influence of time and ratio of reactant weight on the yield of DAG

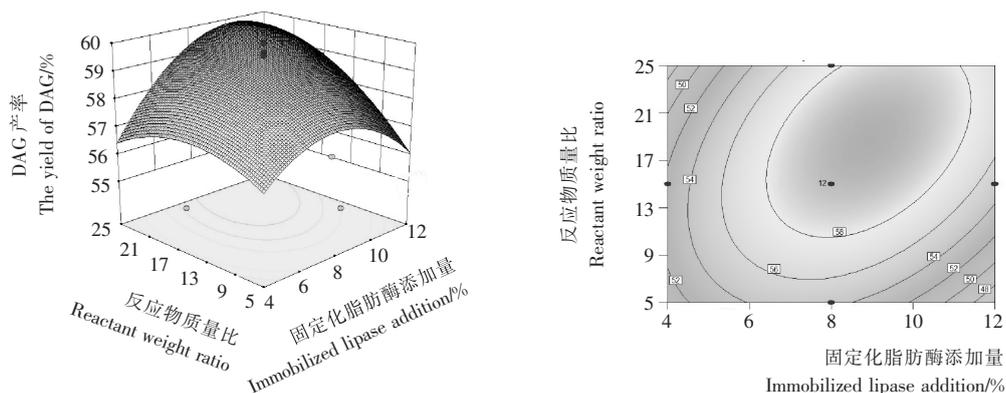


图 6 酶添加量和反应物质量比值对 DAG 产率影响的响应曲面图和等高线图

Figure 6 Surface and contour plots mutual-influence of the amount of immobilized lipase and ratio of reactant weight on the yield of DAG

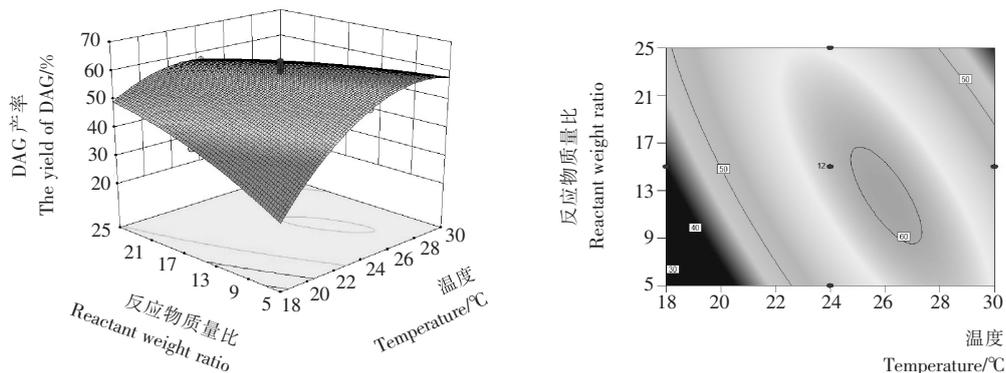


图 7 温度和反应物质量比值对 DAG 产率影响的响应曲面图和等高线图

Figure 7 Surface and contour plots mutual-influence of temperature and ratio of reactant weight on the yield of DAG

由图 6 可知,反应温度固定为 24 °C,反应时间固定为 10 h,固定化脂肪酶添加量在 6%~10%,米糠油油酸甘油酯质量比在 13~25 范围内存在显著增效作用,当酶添加量一定时,反应物质量比在 5~13 范围内增加可以增加 DAG 产率;酶添加量在交互作用中起了更为重要的作用。

由图 7 可知,反应时间固定为 10 h,固定化脂肪酶添加量固定为 8%时,反应温度在 24~30 °C,米糠油与油酸甘油酯质量比在 9.0~18.5 范围内 DAG 产率较高,当反应物质量比为定值时,升高温度可以增加 DAG 产率;反应温度在交

互作用中起了更为重要的作用。

为了得到最佳的制备条件值,对二次回归方程各变量求偏导数,令其为零后解联立方程,解得制备 DAG 最佳的反应条件:反应温度为 25.74 °C、反应时间为 10.19 h、固定化脂肪酶添加量为 8.67%、米糠油与油酸甘油酯质量比为 14.36,模型的理论值为 60.383 1%。

### 2.3 验证实验

按上述优化的试验条件进行验证性实验( $n=3$ ),同时也考虑到实际情况,采用反应温度为 26 °C、反应时间为 10 h、

固定化脂肪酶添加量为 8.5%、米糠油与油酸甘油酯质量比为 14,此时 DAG 产率为 58.31%,验证实际条件预测的理论值为 60.36%与实际值的相对误差为 3.4%,因此响应分析的模型是可靠的<sup>[14]</sup>。

### 3 结论

反应温度、反应时间和反应物质量比对 DAG 产率影响显著,因素的主次顺序依次为反应温度、反应时间和米糠油与油酸甘油酯质量比、固定化脂肪酶添加量。试验通过优化制备富含甘二酯的米糠油的工艺提高米糠油中的甘二酯,反应结束后,使用固体催化剂易于分离且可以重新利用,比较适合制备中低含量的甘油二酯产品,反应原料容易获得,适合大规模生产应用。在今后的研究中应考虑固定化后的脂肪酶重复利用次数对 DAG 产率影响及 pH 对固定酶活性的影响。

#### 参考文献

- 1 Zhong Nan-jing, Gui Zhong-yu, Li Xu, et al. Solvent-free enzymatic synthesis of 1, 3-Diacylglycerols by direct esterification of glycerol with saturated fatty acids[J]. *Lipids in Health and Disease*, 2013, 12(1): 65~68.
- 2 李磊. 高酸价米糠油酶法催化制备富含甘油二酯米糠油的研究[D]. 无锡:江南大学,2010.
- 3 黄莉莉,苏宜香. 甘油二酯的功能及安全性研究现状[J]. *国外医学(卫生学分册)*, 2007, 34(2): 94~98.

- 4 魏金霞,毕艳兰. 甘二酯的制取与应用研究进展[J]. *粮油加工与食品机械*, 2005(2): 45~48.
- 5 Beis I, Juffer A, Weckström M, et al. Physical properties of model phosphatidylcholine bilayers containing diacylglycerol (DAG): a molecular dynamics simulations study[J]. *Biophysical Journal*, 2013, 104(2): 663~664.
- 6 Kiełczyński P, Szalewski M, Balcerzak A, et al. Investigation of high-pressure phase transitions in DAG (diacylglycerol) oil using the Bleustein - Gulyaev ultrasonic wave method[J]. *Food Research International*, 2012, 49(1): 60~64.
- 7 胡永涛,刘钟栋,杨菁. 单甘酯、甘二酯高纯品的生产、理化性质及特殊用途[J]. *中国食品添加剂*, 2009(1): 57~64.
- 8 于济洋,李新华,赵前程,等. 甘二酯制备的研究进展[J]. *中国油脂*, 2007, 32(11): 12~15.
- 9 魏明,赵世光,钱森和. 超声辅助水酶法提取米糠油的研究[J]. *中国油脂*, 2014, 39(10): 6~9.
- 10 欧阳建勋. 米糠油资源开发应用探讨[J]. *粮食科技与经济*, 2011, 36(3): 24~26.
- 11 钟南京,李琳,李冰,等. 甘油酯的液相色谱分析[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(1): 123~126.
- 12 胡士恒. 玉米油酶法合成甘油二酯研究[D]. 长春:吉林大学, 2013.
- 13 郭希娟,马萍,张桂芳. 响应面法在南瓜多糖超声提取中的应用[J]. *粮油加工*, 2010(8): 143~146.
- 14 魏金霞. 响应面法优化溶剂体系下大豆油甘油解制备甘二酯的研究[J]. *农业机械*, 2011(8): 46~48.

(上接第 75 页)

个浓度体系的参比样。采用 Spearman 检验后的  $r_s$  均值法,能够客观评估不同评价员在多次排序中所体现的正确性。由于酸味的后味相对难以祛除,评价员自身对甜味排序的正确性普遍要好于酸味,不过甜味排序表现欠佳的评价员人数要多于酸味。同时通过 Kendall 检验能够评估评价员自身多次排序试验之间的重复性,整体上  $W$  值与正确性结果之间体现了正相关性的趋势,但  $W$  值更加精细的区分了评价员之间的细致变化,特别是对  $r_s$  平均值相同的评价员能够区分相互间的重复表现,提高了评价员能力的区分精度。针对试验管理者感官分析师所要求的既正确又稳定的评价员综合能力,采用聚类分析法可直接将评价员分成不同等级类别,甜味排序能力可分成 4 档,酸味排序能力可分成 3 档,体现了很强的实用性和科学性,为感官分析实验室的评价员筛选和管理提供了可靠的方法。

一种科学的评价员性能评估方法,需要依托于适宜的参比样体系。因为样品评价难度过高,远远超过评价小组团队的差别阈值,使得绝大多数评价员不能正确评价,也就失去了评估和筛选的意义;而样品评价难度过低,所有评价员的每次重复结果都最佳,也起不到筛选更优秀评价员的目的。同时,感官分析结果是评价小组最终的结果,而非受某个评价员的结果所左右,在统计意义的范围内,评价小组内允许个别评价员某几次表现欠佳,因此,可将筛选出的优秀评价员组建成优秀的评价小组队伍。而单独对于评价小组性能

评估还需要进一步深入探讨,包括评价员性能与评价小组之间的关系、不同评价小组之间的性能比对等。

#### 参考文献

- 1 赵镭,刘文. 感官分析技术应用指南[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2011.
- 2 史波林,赵镭,汪厚银,等. 感官分析评价小组及成员表现评估技术动态分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(8): 29~35.
- 3 Jian Bi, Kuesten C. Intraclass Correlation Coefficient (ICC): A Framework for monitoring and assessing performance of trained sensory panels and panelists[J]. *Journal of Sensory Studies*, 2012(27): 352~364.
- 4 郑日昌,孙大强. 心理测量与测验[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2008.
- 5 中国合格评定国家认可中心,国家认证认可监督管理委员会,中国计量科学研究院,等. GB/T 16291.1—2012 感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则第 1 部分:优选评价员[S]. 北京:中国标准出版社, 2012.
- 6 甘怡群,张轶文,邹玲. 心理与行为科学统计[M]. 北京:北京大学出版社, 2009.
- 7 鲍贵. 评估者之间信度分析:从理论到实践[J]. *外语电化教学*, 2010(132): 21~25.
- 8 李春林,陈旭红. 应用多元统计分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2013.
- 9 王静龙. 非参数统计分析[M]. 北京:高等教育出版社, 2012.