



引用格式:潘慧慧,闫溢哲,林海,等. 响应面法优化直链淀粉-正葵醇复合物制备条件的研究[J]. 轻工学报,2016,31(6):16-23.

中图分类号:TS231 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2016.6.003

文章编号:2096-1553(2016)06-0016-08

响应面法优化直链淀粉-正葵醇复合物制备条件的研究

Research on optimization of amylose-n-decanol complex preparation by response surface methodology

潘慧慧¹, 闫溢哲¹, 林海², 史苗苗², 杨留枝², 刘延奇¹
PAN Hui-hui¹, YAN Yi-zhe¹, LIN Hai², SHI Miao-miao², YANG Liu-zhi²,
LIU Yan-qi¹

- 1. 郑州轻工业学院 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001;
- 2. 鹤壁职业技术学院, 河南 鹤壁 458030
- 1. College of Food and Biolengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;
- 2. Hebi Polytechnic College, Hebi 458030, China

关键词:

直链淀粉; 正葵醇;
V-型复合物; 响应面法

Key words:

amylose; n-decanol;
V-type complex;
response surface methodology

摘要:以马铃薯B型微晶直链淀粉和正葵醇为原料,采用溶剂法合成直链淀粉-正葵醇复合物,研究了乙醇浓度、直链淀粉与正葵醇的质量体积比、结晶温度等因素对该复合物结晶度的影响,建立了二次多项式回归模型.在单因素试验基础上,采用Box-Behnken响应面法试验优化了复合物的制备工艺条件.结果表明,直链淀粉-正葵醇复合物的最佳复合工艺条件为乙醇浓度7.80%,直链淀粉与正葵醇质量体积比(g:L)10:2.6,结晶温度55℃.在此条件下,预测产品结晶度将达到63.25%,验证试验所得产品平均结晶度为62.97%,说明该模型可靠性良好.

收稿日期:2016-05-11

基金项目:国家自然科学基金项目(21376228);河南省科技基础研究项目(162300410141)

作者简介:潘慧慧(1990—),女,河南省安阳市人,郑州轻工业学院硕士研究生,主要研究方向为天然大分子改性及应用.

通信作者:刘延奇(1964—),男,河南省新乡市人,郑州轻工业学院教授,博士,主要研究方向为天然大分子改性及应用.

Abstract: Amylose-n-decanol complex was prepared by solvent method with B-type crystallite potato amylose and n-decanol as raw material. The effects on complex synthesis process by the three factors of ethanol concentration, the ratio of quality and volume of amylose to n-decanol, crystallization temperature were discussed. The quadratic polynomial model was established. On the basis of single factor test, the optimum complex synthesis process was obtained through Box-Behnken experimental design. The results showed that the optimum complex synthesis process of amylose and n-decanol was additive amount of ethanol concentration 7.80%, the ratio of quality and volume of amylose to n-decanol (g : L) 10 : 2.6, crystallization temperature 55 °C. The degree of crystallization of amylose-n-decanol complex forecasted will be to 63.25%. Under this condition, the products crystallinity on average achieved from verification test is 62.97%, and the model reliability is good.

0 前言

淀粉是食品工业中的一种重要原料,也是人体所需能量的主要来源之一。淀粉包括两种多聚物:直链淀粉(主要是线性葡萄糖多聚物)和支链淀粉(分支状葡萄糖多聚物)。目前,国内外开展了多种关于淀粉制备和性能的研究,其中很多是关于直链淀粉与配体复合的研究。常见的淀粉复合物制备方法有水溶剂法、碱性络合法、二甲基亚砷(DMSO)制备法等^[1]。水溶剂法是复合物制备的常用方法:在高温下淀粉的水悬浮液完全糊化时,加入溶剂和配体的混合物来制备复合物。碱性络合法是先将直链淀粉溶于一定浓度的KOH溶剂中,再加入配体混合均匀,静置形成复合物。DMSO制备法是:将直链淀粉在热DMSO中溶解,再用沸水稀释,配体逐滴加入热乙醇或者水中,溶解后再加入直链淀粉-DMSO溶液中,高温放置一段时间后缓慢冷却,以促进复合物的形成。

目前的研究发现,直链淀粉能与脂类^[2-3](硬脂酰单萘脂、硬脂酰蔗糖酯、单棕榈酸甘油酯)、醇类^[4-6](十二醇、正葵醇、正辛醇、正丁醇、正己醇)、酸类^[7-10](棕榈酸、硬脂酸、油酸、脂肪酸)物质反应形成复合物。此外,直链淀粉还可以与溶血磷脂酰胆碱、环氧丙烷、月桂酸钠等进行复合^[11-13]。复合物的形成能够改善淀粉的特性和功能,如降低溶解性、延迟逆生、降低凝胶淀粉的黏性等。这些特性改良有效扩大了

淀粉-配体复合物的应用范围,例如,应用于食品、医药、日用化工等领域,作食品稳定剂、药物控释载体、化妆品组分等。

本文拟先通过单因素试验,探讨乙醇浓度、直链淀粉与正葵醇的质量体积比、结晶温度、二甲基甲酰胺(DMF)溶剂用量等因素对直链淀粉-正葵醇复合物结晶度的影响,确定影响复合物形成的关键因素及其最佳数值,然后利用Design Expert 8.0.6软件对实验进行设计和数据处理,进一步优化复合物合成的最佳工艺条件。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

主要材料和试剂:马铃薯淀粉,食品级,购于河南恒祥进出口有限公司;正葵醇、异丙酮,均为分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司产;无水乙醇,分析纯,天津市富宇精细化工有限公司产;浓盐酸,分析纯,开封市芳晶化学试剂有限公司产;DMF,分析纯,天津致远试剂公司产。

主要仪器:YP6102型电子天平,上海光正医疗仪器有限公司产;SXXW-500型数显控温电热套,北京中兴伟业仪器有限公司产;LG10-2.4A型高速离心机,北京医用离心机厂产;DZKW-D-2型数显恒温水浴锅,北京光明医疗器械厂产;SHB-III型循环水式真空泵,郑州长城科工贸有限公司产;Burker D8型

X - 射线衍射仪,德国布鲁克公司产;C - MAG - HS7 型磁动搅拌机,IKA 公司产.

1.2 实验方法

1.2.1 淀粉的纯化 称取 100 g 天然马铃薯淀粉置于 500 mL 的三口烧杯中,加入 200 mL 异丙酮,上置冷凝管,加热至沸腾后回流 30 min,使用布氏漏斗进行减压抽滤,滤饼用无水乙醇反复淋洗三四次,在室温下晾干,得到脱脂淀粉.

1.2.2 酸变性淀粉的制备 以上述脱脂淀粉为原料制备酸变性淀粉,具体方法参见文献[14].

1.2.3 B 型微晶直链淀粉的制备 以酸变性淀粉为原料制备 B 型微晶直链淀粉,具体方法参见文献[15].

1.2.4 直链淀粉 - 正葵醇复合物的制备 将 2.00 g B 型微晶直链淀粉添加到 500 mL 的三口瓶中,加入 40 mL 蒸馏水(或蒸馏水与 DMF 混合溶液),使用磁力搅拌器加热,温度为 135 °C,转速 1360 r/min,上接回流装置,待沸腾 5 min 后,缓慢向沸腾溶液中滴加正葵醇 - 乙醇水溶液,继续加热 10 min,转移到一定温度的恒温水浴槽中,封口静置一段时间,然后缓慢冷却至室温,放置 24 h. 离心分离并用无水乙醇洗涤沉淀物,反复离心两次,得到白色沉淀物,冷冻干燥 12 h,研磨,所得样品即为直链淀粉 - 正葵醇复合物.

1.2.5 X - 射线衍射 复合物样品结构用 Burker D8 型 X - 射线衍射仪测定,采用波长 0.1542 nm 的单色 Cu-K α 射线. 测试条件为:管压 40 kV,管流 30 mA,扫描区域 5 ~ 35°,采样步宽 0.02°,扫描方式为连续.

使用 Origin 8.0 软件对测试结果进行拟合、分析,得到晶相和非晶相,积分得到晶相峰面积和总峰面积,即可求得复合物的结晶度^[16].

1.3 实验设计

1.3.1 单因素试验设计 在前人研究和前期

预实验的基础上,初步确定乙醇水溶液浓度 (v/v) A ,直链淀粉与正葵醇的质量体积比 ($g : L$,下同) B ,结晶温度 C ,DMF 溶剂用量 D 等因素的取值范围,设定不同水平(见表 1),进行单因素试验.

表 1 不同因素的水平设计

Table 1 The levels of the different factors designed

水平	因素			
	$A/\%$	B	$C/^\circ\text{C}$	D/mL
1	0	10 : 1.0	20	1
2	4.76	10 : 1.5	30	2
3	9.10	10 : 2.0	40	3
4	13.04	10 : 2.5	50	4
5	16.67	10 : 3.0	60	5

1.3.2 响应面优化试验 在单因素试验的基础上,选出对复合影响较大的 3 个因素,然后利用 Box-Behnken 中心组合试验进行响应面优化试验^[16]. 将复合物的结晶度 (R) 作为响应值,因素 A, B, C 为主要考察因素,研究复合物合成的最佳工艺. 响应面优化试验因素水平编码见表 2.

表 2 响应面优化试验设计因素水平表

Table 2 Variables levels of response surface designed

水平	因素		
	$A/\%$	B	$C/^\circ\text{C}$
-1	4.76	10 : 2.0	40
0	9.10	10 : 2.5	50
1	13.04	10 : 3.0	60

1.3.3 数据处理 利用 Origin 6.0 软件作图,计算出复合物结晶度. 响应面优化试验设计及数据分析利用 Design Expert 8.0.6 软件进行.

1.3.4 验证试验 按照响应面优化试验优化得出的最佳工艺条件制备直链淀粉 - 正葵醇复合物,重复 5 次,计算相对误差.

2 结果与分析

2.1 反应条件对复合物结晶度的影响

2.1.1 乙醇浓度 室温条件下(25 °C),保持

直链淀粉与正葵醇的质量体积比为 10 : 1.0, 改变乙醇浓度, 制备复合物, XRD 测其结构, 计算结晶度, 结果如图 1 所示. 由图 1 可见, 随着乙醇浓度的增大, 复合物的结晶度先增后减. 当乙醇浓度为 9.1% 时, 结晶度达到最大值. 这可能是由于正葵醇溶于乙醇后, 更易于与直链淀粉复合. 当乙醇浓度过高时, 反应生成的复合物快速沉淀, 结晶时间缩短, 结晶度降低.

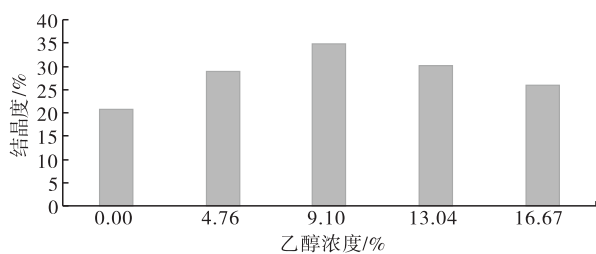


图 1 乙醇浓度对复合物结晶度的影响

Fig. 1 Influence of ethanol concentration for compound crystallinity

2.1.2 直链淀粉与正葵醇质量体积比 室温条件下 (25 °C), 取乙醇浓度为 9.10%, 改变直链淀粉与正葵醇的质量体积比, 制备复合物, 计算其结晶度, 结果如图 2 所示. 由图 2 可见, 随着直链淀粉与正葵醇质量体积比的升高, 复合物的结晶度先升后降, 在质量体积比为 10 : 2.5 时结晶度达到最大值. 这可能是由于配体浓度的增加使直链淀粉更容易与配体形成结晶. 当配体浓度过高时, 多余配体无法与直链淀粉复合, 并会阻碍复合物的形成, 使结晶度降低.

2.1.3 结晶温度 选用直链淀粉与正葵醇的质量体积比为 10 : 2.5, 乙醇浓度为 9.10%, 改变结晶温度, 制备复合物并计算其结晶度, 结果见图 3. 由图 3 可见, 随着结晶温度的升高, 结晶度先上升后下降. 当结晶温度为 50 °C 时, 复合物的结晶度最高. 其原因可能是复合物的形成是一个吸热过程, 较高温度会促进结晶的形成. 当温度过高时, 直链淀粉会发生糊化, 导致其结构改变, 影响复合物的结晶结构.

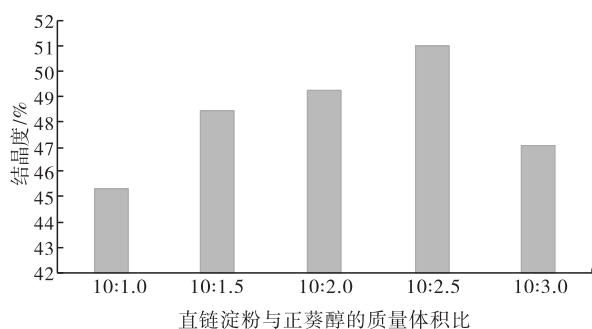


图 2 直链淀粉与正葵醇的质量体积比对复合物结晶度的影响

Fig. 2 Influence of the ratio of quality and volume of amylose to n-decanol for compound crystallinity

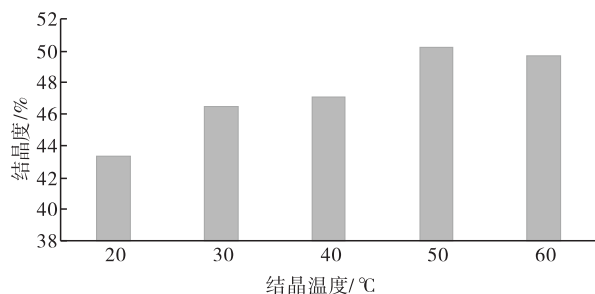


图 3 结晶温度对复合物结晶度的影响

Fig. 3 Influence of crystallization temperature for compound crystallinity

2.1.4 DMF 溶剂用量 保持直链淀粉与正葵醇的质量体积比为 10 : 2.5, 乙醇浓度为 9.10%, 结晶温度 50 °C, 溶剂总量 20 mL (蒸馏水与 DMF 的总和), 改变 DMF 用量, 制备复合物并计算其结晶度, 结果见图 4. 由图 4 可知, 当 DMF 用量为 4 mL 时, 复合物的结晶度最大, 原因可能是随着溶剂中 DMF 含量的升高, 配体更容易与直链淀粉复合. 当溶剂中 DMF 含量为 5 mL 时, 结晶度降低, 这可能是由于此时含水量较少, 不利于直链淀粉的糊化, 影响了复合物的结晶结构.

2.2 响应面优化试验结果分析

2.2.1 模型方程建立与显著性检验 由上述单因素试验可知, 4 种影响因素中, 乙醇浓度、直链淀粉与正葵醇的质量体积比、结晶温度、

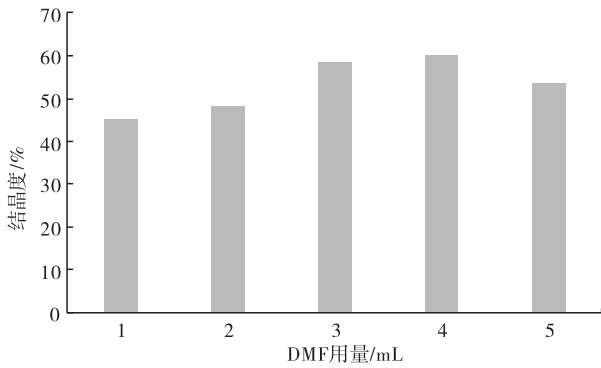


图4 DMF 溶剂用量对复合物结晶度的影响
Fig. 4 Influence of DMF solvent dosage for compound crystallinity

DMF 溶剂用量的最佳取值分别为 9.10% ,10 : 2.5,50 °C ,3 mL. 由图 4 可看出,DMF 用量对复合物结晶度影响不大. 因此,选取乙醇浓度、直链淀粉与正葵醇的质量体积比、结晶温度 3 因素,运用软件 Design Expert 8.0.6,根据 Box-Behnken 的中心组合设计原理,设计 3 因素 3 水平共 17 个试验点进行响应面法分析,试验设计与结果见表 3.

对响应面试验结果进行回归拟合分析,得

到以 R 为目标,以 A, B, C 为因素的二次多元回归方程为

$$R = 62.29 - 1.71A + 0.91B + 2.54C - 0.89AB - 1.38AC + 1.83BC - 4.21A^2 - 3.76B^2 - 3.78C^2$$

回归模型方差结果分析见表 4. 回归方程中各变量对直链淀粉 - 正葵醇复合物影响的显著性由 F 或 P 来判定, F 越大或 P 越小则相应变量的显著性越高. 由表 4 可知,对结晶度所建立的回归模型极显著 ($P < 0.01$), 试验所考察的 3 个因素对结晶度的影响为: $A(P < 0.05)$ 显著, $C(P < 0.01)$ 极显著, $B(P > 0.05)$ 不显著. P 值越小,对结晶度的影响越显著,故 3 因素对复合物结晶度的影响依次为 $C > A > B$. 3 因素间的交互作用均不显著,二次项 A^2, B^2, C^2 均对复合物结晶度影响极显著.

失拟项 ($P > 0.05$) 对结晶度的影响不显著, $R^2 = 93.02\%$,说明实测值和预测值非常接近,残差是由随机误差引起的,拟合程度较高,模型精确度较好,可以用于直链淀粉 - 正葵醇复合物制备工艺的理论研究.

表 3 响应面试验设计和结果

Table 3 Designing and results of response surface

编号	A/%	B	C/°C	XRD 衍射峰强度			R/%
				7.5°	13.5°	20.8°	
1	9.10	10 : 2.5	50	137.0562	297.6242	321.3271	63.17
2	9.10	10 : 2.5	50	148.7712	326.8159	352.3757	62.06
3	4.76	10 : 2.0	50	120.1938	269.2927	288.6264	56.01
4	9.10	10 : 2.5	50	138.1705	301.4462	320.3384	59.95
5	13.04	10 : 2.5	40	112.9669	231.0517	254.9916	52.10
6	13.04	10 : 2.0	50	151.1303	289.3990	318.9694	53.15
7	13.04	10 : 2.5	60	154.4019	325.4774	389.9537	54.27
8	4.76	10 : 2.5	40	116.5754	251.4532	298.7152	51.56
9	13.04	10 : 3.0	50	153.4611	312.9809	340.3047	50.84
10	9.10	10 : 2.0	60	162.1735	303.3909	335.5096	53.44
11	9.10	10 : 2.0	40	129.9635	249.4313	260.4746	51.87
12	9.10	10 : 2.5	50	154.7950	330.7147	396.1177	62.02
13	4.76	10 : 3.0	50	151.2005	325.8565	331.5571	57.26
14	9.10	10 : 2.5	50	155.0382	295.1256	348.3752	64.24
15	9.10	10 : 3.0	60	165.0590	305.2935	376.9026	61.27
16	9.10	10 : 3.0	40	111.9840	230.0688	253.0960	52.40
17	4.76	10 : 2.5	60	170.6894	338.0581	381.8660	59.24

表4 回归模型方差分析结果

Table 4 Results of variance analysis of regression model

项目	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	323.00	9	35.89	10.36	0.0028	**
A	23.50	1	23.50	6.78	0.0352	*
B	6.66	1	6.66	1.92	0.2081	
C	51.46	1	51.46	14.85	0.0063	**
AB	3.17	1	3.17	0.91	0.3708	
AC	7.59	1	7.59	2.19	0.1824	
BC	13.32	1	13.32	3.85	0.0907	
A ²	74.73	1	74.73	21.57	0.0024	**
B ²	59.53	1	59.53	17.18	0.0043	**
C ²	60.25	1	60.25	17.39	0.0024	**
剩余项	24.25	7	3.46			
失拟项	14.08	3	4.69	1.84	0.2796	
纯误差	10.18	4	2.54			
总和	347.25	16				

注: * 表示差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$).

2.2.2 各因素间的交互作用分析 为了能够直观地观察到每个因素对响应值的影响, 分别将回归模型中的两个因素固定在中心点水平, 构建另两种因素交互作用的响应面图. 图5—图7分别为乙醇浓度、直链淀粉与正葵醇的质量体积比、结晶温度对结晶度影响的响应曲面

图与等高线图. 由图5—图7可以明显看出, 各因素对响应值的变化趋势存在一定的影响, 该模型结晶度存在最大值.

由图5可见, 当结晶温度固定时, 随着乙醇浓度的增加, 复合物的结晶度先升高后降低. 因为使用乙醇作溶剂会促进直链淀粉与正葵醇的复合, 但当乙醇过多时, 结晶度会降低. 当乙醇浓度为 6.93% ~ 9.10% 时, 结晶度达到最大值. 由等高线图可以看出, 直链淀粉与正葵醇的质量体积比跟乙醇浓度间的交互作用不显著.

由图6可知, 当直链淀粉与正葵醇的质量体积比一定时, 随着结晶温度的升高, 复合物的结晶度先升高后降低. 当结晶温度为 50 ~ 60 °C 时, 结晶温度达到最大值. 由等高线图可以看出, 结晶温度与乙醇浓度间的交互作用不显著.

由图7可知, 在乙醇浓度一定时, 随着直链淀粉与正葵醇的质量体积比的升高, 结晶度先升高后降低, 当直链淀粉与正葵醇的质量体积比为 10 : 2.50 ~ 10 : 2.75 时, 结晶度达最大值. 由等高线图可以看出, 结晶温度跟直链淀粉与正葵醇的质量体积比间的交互作用不显著.

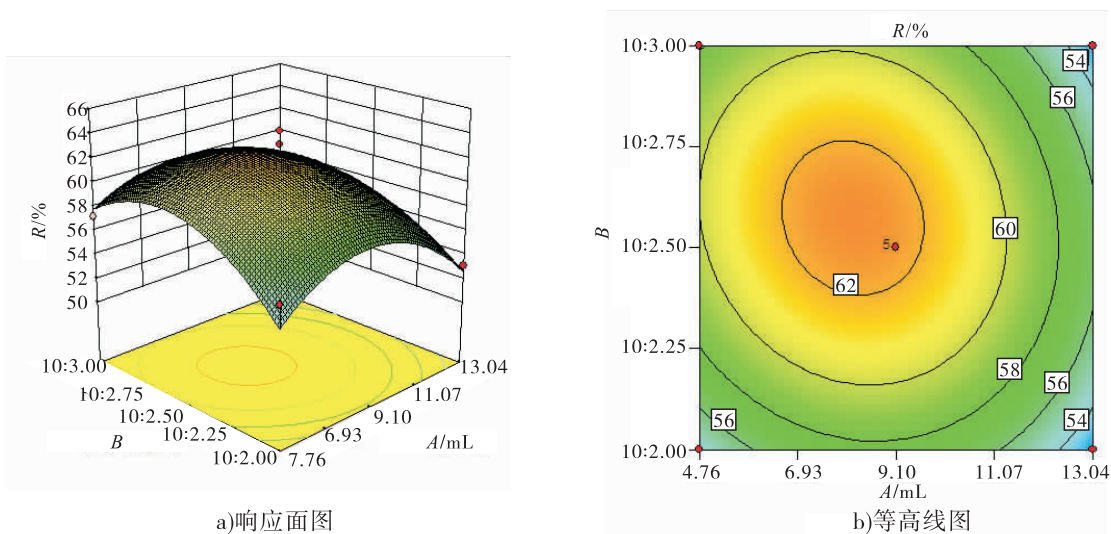


图5 直链淀粉与正葵醇的质量体积比跟乙醇浓度的交互作用

Fig. 5 Interaction between the ratio of quality and volume of amylose to n-decanol and ethanol concentration

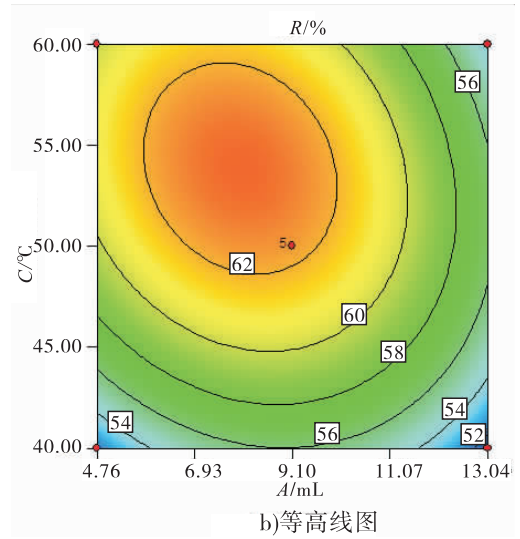
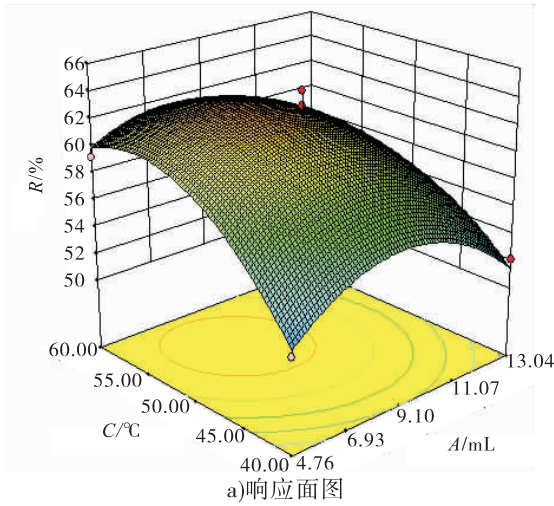


图6 结晶温度与乙醇浓度的交互作用

Fig. 6 Interaction between crystallization temperature and ethanol concentration

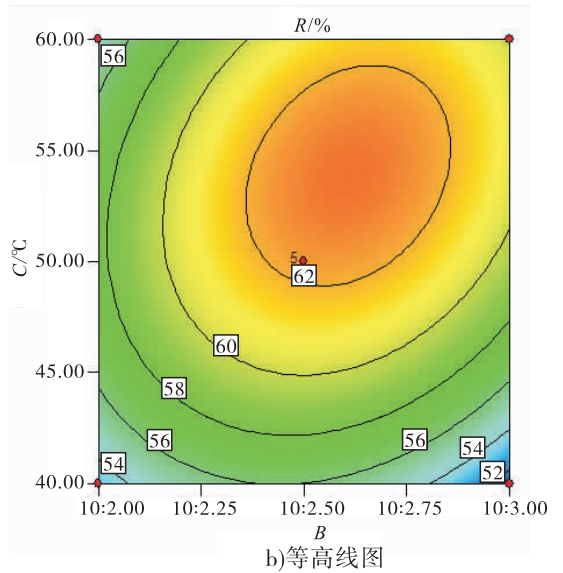
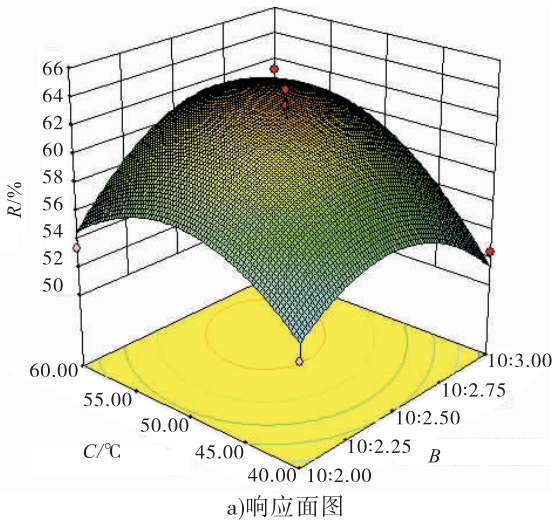


图7 结晶温度跟直链淀粉与正癸醇的质量体积比的交互作用

Fig. 7 Interaction between crystallization temperature and the ratio of quality and volume of amylose to n-decanol

利用 Design Expert 8.0.6 对影响复合物合成的各种因素进行条件优化,得到最佳工艺条件为:乙醇浓度 7.79%,直链淀粉与正葵醇的质量体积比 10 : 2.63,结晶温度 54.56 °C. 在此条件下,预测复合物的结晶度将达到 63.25%. 为了方便实际操作,对得到的最优工艺条件进行修正,调整后的工艺条件为:乙醇浓度 7.80%,直链淀粉与正葵醇的质量体积比

10 : 2.6,结晶温度 55 °C.

2.3 验证试验

在调整后的工艺条件下制备复合物,进行 5 组回归模型验证试验. 预测结晶度为 63.25%, 实测结晶度分别为 62.92%, 62.58%, 63.15%, 63.19%, 62.99%, 相对误差分别为 0.52%, 1.06%, 0.16%, 0.01%, 0.41%. 由此可见,产品结晶度预测值与实测值相近,相对误差均在

1. 10% 以下, 5 组模拟试验平均结晶度为 62.97%, 与预测值的相对误差为 0.40%。这证明应用响应面法来优化直链淀粉-正葵醇复合物的几种关键因素是可行的。

3 结论

本文选择乙醇浓度、直链淀粉与正葵醇的质量体积比、结晶温度、DMF 溶剂用量作为因子, 通过单因素试验和响应面法建立了影响直链淀粉-正葵醇复合物结晶度的各种因素的二次多项式回归模型, 模型为极显著, 可靠性良好。单因素试验表明, 随着乙醇浓度的增加、结晶温度的升高、直链淀粉与正葵醇的质量体积比的升高和 DMF 用量的增加, 复合物结晶度均先升高后降低, 但 DMF 用量对复合物结晶度影响不大。对影响较大的 3 因素对复合物结晶度的影响水平和交互作用进行分析发现, 3 因素对复合物结晶度的影响大小依次为结晶温度 > 直链淀粉与正葵醇的质量体积比 > 乙醇浓度, 各因素之间的交互作用不显著, 最佳工艺条件为: 乙醇浓度 7.80%, 直链淀粉与正葵醇的质量体积比 10:2.6, 结晶温度 55 °C, 该条件下预测结晶度 63.25%, 验证试验制备的复合物平均结晶度为 62.97%, 与预测值相差很小, 说明该模型可靠性良好。

参考文献:

- [1] PUTSEYS J A, LAMBERTS L, DELCOUR J A. Amylose-inclusion complexes: Formation, identity and physico-chemical properties [J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51: 238.
- [2] 荆晓艳, 杨留枝, 刘延奇. 短链直链淀粉-脂类复合物的制备及表征 [J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(14): 1.
- [3] TUFVESSON F, ELIASSON A C. Formation and crystallization complex in a starch matrix [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2000, 43: 359.
- [4] 刘延奇, 解慧芳, 史苗苗, 等. V 型直链淀粉-十二醇复合物的制备工艺研究 [J]. *食品科技*, 2016, 41(3): 260.
- [5] 刘延奇, 牛斌, 闫溢哲, 等. 直链淀粉-正葵醇复合物的制备及表征 [J]. *食品科技*, 2015, 40(12): 232.
- [6] 刘延奇, 肖欣欣, 郑苗苗, 等. V 型直链淀粉-醇类复合物定性定量分析 [J]. *食品工业科技*, 2012, 89(4): 132.
- [7] MENG S, MA Y, SUN D W, et al. Properties of starch-palmitic acid complexes prepared by high pressure homogenization [J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 59: 25.
- [8] 孟爽, 马莺, 刘天一. 应用高压均质技术制备玉米淀粉-硬脂酸复合物 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2015, 47(4): 52.
- [9] 袁贵英, 杨留枝, 秦令祥, 等. V-型直链淀粉-油酸复合物的制备及影响因素研究 [J]. *食品科技*, 2011, 36(6): 262.
- [10] MARINOPOULOU A, PAPASTERGIADIS E, RAPHAELIDES S N, et al. Morphological characteristics, oxidative stability and enzymic hydrolysis of amylose-fatty acid complexes [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 141: 106.
- [11] AHMADI-ABHARI S, WOORTMAN A J J, OUDHUIS A A C M, et al. The influence of Amylase-LPC complex formation on the susceptibility of wheat starch to amylase [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 97: 436.
- [12] KIM H S, CHOI H S, KIM B Y, et al. Ultra high pressure (UHP)-assisted hydroxypropylation of corn starch [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 83: 755.
- [13] 李爽, 荆晓艳, 杨留枝, 等. V 型直链淀粉-月桂酸钠复合物的制备方法研究 [J]. *河南大学学报(自然科学版)*, 2014, 35(3): 37.
- [14] 刘延奇, 于九皋, 孙秀萍. A-型淀粉球晶的制备与表征 [J]. *中国粮油学报*, 2004, 19(1): 31.
- [15] 刘延奇, 于九皋, 孙秀萍. B-型淀粉球晶的制备与表征 [J]. *精细化工*, 2004, 21(2): 137.
- [16] 杨文雄, 高彦祥. 响应面法及其在食品工业中的应用 [J]. *中国食品添加剂*, 2005(2): 68.