

响应面试验优化喷雾干燥制备核桃分心木速溶粉及其冲调性分析

张 妍¹, 高 蕾¹, 王正红², 阿迪拉·阿迪力¹, 王文君¹, 杨海燕^{1,*}

(1.新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2.新疆阿布丹食品开发有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要:以核桃分心木为原料,从分心木速溶粉冲调性的角度出发,采用单因素试验研究喷雾干燥进风口温度、进料流量及热风流量对核桃分心木速溶粉润湿性、分散性、水分含量及颗粒大小的影响,并选择进风口温度、进料速率、热风流量3个因素,以润湿时间及分散时间为响应值进行响应面优化试验。喷雾干燥制备核桃分心木速溶粉的最优参数为进风口温度170℃、进料流量1.8 L/h、热风流量35 m³/h。采用上述实际操作参数重新制作核桃分心木速溶粉样品进行实验,实际测得润湿时间为13.2 s,分散时间为5.8 s,与模型预测值相符。

关键词:核桃分心木;喷雾干燥;冲调特性;润湿性;分散性

Response Surface Optimization of Production of Instant Walnut Diaphragm Powder by Spray Drying and Analysis of Its Reconstitution Properties

ZHANG Yan¹, GAO Lei¹, WANG Zhenghong², Adila · ADILI¹, WANG Wenjun¹, YANG Haiyan^{1,*}

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Ürümqi 830052, China;

2. Xinjiang Abudan Food Development Co. Ltd., Ürümqi 830052, China)

Abstract: The aim of this study was to develop instant walnut diaphragm powder by spray drying. The operating parameters of spray drying were optimized. First of all, the one-factor-at-a-time method was used to investigate the effects of air inlet temperature, feed flow rate and hot air flow rate on the wettability, dispersibility, moisture content and particle size of walnut diaphragm powder. Then, we selected air inlet temperature, feed flow rate and hot air flow rate for the optimization experiments carried out by using response surface methodology. The responses were wettability and dispersibility. The results showed that the spray drying process was optimized as follows: air inlet temperature, 170℃; feed flow rate, 1.8 L/h; and hot air flow rate, 35 m³/h. The measured wetting time for the product under the optimized conditions was 13.2 s and the experimental dispersion time 5.8 s, which were in good agreement with the model predicted values.

Key words: walnut diaphragm; spray drying; reconstitution properties; wettability; dispersibility

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618008

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)18-0047-05

引文格式:

张妍, 高蕾, 王正红, 等. 响应面试验优化喷雾干燥制备核桃分心木速溶粉及其冲调性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 47-51. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618008. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Yan, GAO Lei, WANG Zhenghong, et al. Response surface optimization of production of instant walnut diaphragm powder by spray drying and analysis of its reconstitution properties[J]. Food Science, 2016, 37(18): 47-51. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618008. <http://www.spkx.net.cn>

新疆核桃产量居全国前列,新疆核桃分心木俗称核桃隔膜,是胡桃科植物胡桃果核的干燥木质隔膜,味涩气微^[1];常用于治疗遗精、遗尿、带下等症^[2],维吾尔医也有记载

用于治疗肾虚^[3-4]。研究表明,分心木中含有总黄酮^[5-6]、多糖^[7]、总皂苷^[8]等生物活性物质,这些生物活性物质具有一定的抗癌^[9]、抗病毒^[10-11]、抗炎^[12]抑菌效果^[13-14]。

收稿日期: 2016-03-18

基金项目: 自治区研究生教育创新计划科研创新项目(XJGRI2015088)

作者简介: 张妍(1991—),女,硕士研究生,研究方向为功能性油脂及其粕的综合利用。E-mail: 249439765@qq.com

*通信作者: 杨海燕(1962—),女,教授,博士,研究方向为农产品精深加工与综合利用。E-mail: yanghaiyan163@163.com

目前市场上出售的核桃分心木产品以原料为主, 少有高附加值商品, 食用方式以开水冲泡为主, 难以食用且不方便携带。果蔬粉是目前一种良好的深加工产品^[15], 开发核桃分心木速溶粉可以拓宽核桃分心木的应用范围并且延长新疆核桃产业产业链。喷雾干燥过程有物料受热时间短、较好保留产品营养成分及风味、便于贮存运输等优点^[16-17], 是目前工业上最实用的干燥方式。粉体在复水时会发生润湿、下沉、分散、溶解等过程^[18-19], 以上过程是交叉混合连续进行的, 因此在实验过程中不能以单一指标来衡量粉体的冲调性能。本实验研究喷雾干燥条件对核桃分心木速溶粉润湿性和分散性等单一指标的影响, 并深入讨论其交互关系, 从整体角度研究了喷雾干燥工艺对核桃分心木速溶粉的冲调性能的影响, 进而对喷雾干燥工艺参数进行优化。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

核桃分心木 新疆阿布丹食品科技有限公司。

芦丁标准品(≥95%) 上海士锋生物科技有限公司;

纤维素酶 郑州瑞佳食品添加剂有限公司; 果胶酶 青岛益生堂生物技术有限公司; 乙醇 天津永晟精细化工有限公司。

1.2 仪器与设备

AL204-1C梅特勒电子天平 尼岛机电(上海)有限责任公司; 101A型数显电热鼓风干燥箱 天津市美特斯科技有限公司; TD25-WS型离心机 江苏金坛医疗器械有限公司; R2003KB旋转蒸发器 陕西省恒博生物科技有限公司; DZKW-4型数显恒温热水浴锅 江西省正东矿山机械制造有限公司; FW-100万能粉碎机 北京市永光明医疗仪器有限公司; OPD-8高速离心喷雾干燥机 上海大川原干燥设备有限公司; 标准分析筛 新乡市雷蒙特机械有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

核桃分心木→烘干、粉碎(过80目筛)→酶解水浴浸提→离心澄清→复合调配→浓缩→高压均质→喷雾干燥→包装

1.3.2 喷雾干燥工艺单因素试验^[20]

在大量预实验的基础上, 选择效果较好的喷雾干燥参数点, 以这些参数点为基础上下浮动取点, 通过单因素试验, 确定合适的干燥参数。

1.3.2.1 喷雾进风口温度的确定

在热风流量30 m³/h、进料流量1.8 L/h、料液质量分数20%的条件下, 分别选择进风口温度150、160、170、180、190℃进行喷雾干燥, 考察喷雾干燥工艺适应性, 测定粉体冲调特性。

1.3.2.2 喷雾热风流量的确定

在喷雾进料流量1.8 L/h、进风口温度170℃、料液质量分数20%的条件下, 分别选择热风流量为20、25、30、35、40 m³/h进行喷雾干燥, 考察喷雾干燥工艺适应性, 测定粉体冲调特性。

1.3.2.3 喷雾进料流量的确定

在热风流量30 m³/h、进风口温度170℃、料液质量分数20%的条件下, 分别选择进料流量为1.5、1.8、2.1、2.3、2.6 L/h进行喷雾干燥, 考察喷雾干燥工艺适应性, 测定粉体冲调特性。

1.3.3 响应面试验设计

根据单因素试验结果, 采用三因素三水平响应面设计对喷雾干燥工艺进行优化, 因素与水平设计见表1。

表1 响应面试验因素与水平设计
Table 1 Factors and levels used in response surface central composite design

水平	因素		
	A进风口温度/℃	B进料流量/(L/h)	C热风流量/(m ³ /h)
-1	160	1.5	30
0	170	1.8	35
1	180	2.1	40

1.3.4 粉体冲调特性的测定^[18]

由于核桃分心木速溶茶溶解度差异不明显, 本研究以润湿性、分散性为考察指标进行测定。

1.3.4.1 润湿性的测定

准确称取1 g核桃分心木喷雾干燥粉, 置于盛有50 mL 50℃去离子水的烧杯中, 从粉体放入烧杯时开始计时, 记录粉体全部浸润的时间, 即为润湿时间, 润湿时间越短润湿性越好。

1.3.4.2 分散性的测定

将盛有50 mL去离子水的烧杯置于磁力搅拌器上(转速500 r/min), 准确称取1 g核桃分心木速溶粉, 均匀快速分散于水中, 记录粉体全部分散于水中所用的时间, 即为分散时间, 分散时间越短分散性越好。

2 结果与分析

2.1 进风口温度对核桃分心木速溶粉冲调特性的影响

表2 进风口温度对核桃分心木速溶茶冲调特性的影响
Table 2 Effect of air inlet temperature on reconstitution properties

进风口温度/℃	水分含量/%	颗粒大小/mm	润湿时间/s	分散时间/s
150	8.27	0.50	17.2	4.7
160	6.01	0.45	16.8	4.2
170	5.45	0.40	15.3	3.8
180	4.52	0.40	16.3	4.0
190	3.84	0.35	19.0	4.1

由表2可知,随着进风口温度升高,粉体水分含量和颗粒大小呈现下降趋势,润湿时间和分散时间呈现出先减小后增加的趋势。造成这种现象的原因是:在喷雾干燥过程中,雾滴在干燥时分为等速干燥和降速干燥两个阶段,进风口温度越高,干燥室温度越高,进入降速干燥阶段就越早,对应的粉体干燥越充分。进风口温度较低时,物料还未充分干燥就发生碰撞,形成较大颗粒,从而增加粉体润湿时间和分散时间;相反,进风口温度高,物料干燥速率快,形成小颗粒。有研究表明,当进风口温度过低时,物料干燥不充分,出现黏壁现象;进风口温度过高时,物料表面蒸发过快,造成粉体表面硬化而内部水分尚未充分蒸发扩散,出现回潮现象,使得物料黏附在塔壁上^[17]。因此,控制适当的进风口温度是喷雾干燥工艺的重要环节,过高或过低的进风口温度都会使得粉体润湿性和分散性变差,对粉体冲调性造成影响。结果表明:喷雾进风口温度为170℃时,获得粉体冲调特性较为理想。

2.2 进料流量对核桃分心木速溶粉冲调特性的影响

表3 进料流量对核桃分心木速溶粉冲调特性的影响
Table 3 Effect of feed flow rate on reconstitution properties

进料流量/ (L/h)	水分 含量/%	颗粒 大小/mm	润湿 时间/s	分散 时间/s
1.5	2.21	0.25	7.9	5.6
1.8	3.26	0.25	13.5	5.2
2.1	4.87	0.35	15.5	4.9
2.3	6.33	0.35	18.7	5.5
2.6	8.04	0.40	21.0	5.8

由表3可知,随着进料流量增加,粉体水分含量、颗粒大小增加,润湿时间逐步延长,分散时间呈先减小后增加趋势。造成这种现象的原因是:进料流量过大时,物料干燥不完全,获得的产品有部分是黏流状态黏结在一起的,从而含水量高、粉体颗粒增大。在较小进料流量条件下,获得粉体水分含量低、粉体颗粒小,粉体形态细小,使得粉体润湿性和分散性并不好;在较大进料流量条件下,获得粉体颗粒大、粉体水分含量高,易结块,获得粉体的润湿性和分散性都较为不理想。结果表明,控制喷雾进料流量在1.8 L/h时,核桃分心木速溶粉的润湿性和分散性均较理想。

2.3 热风流量对核桃分心木速溶粉冲调性的影响

表4 热风流量对核桃分心木速溶粉冲调性的影响
Table 4 Effect of hot air flow rate on reconstitution properties

热风流量/ (m ³ /h)	水分 含量/%	颗粒 大小/mm	润湿 时间/s	分散 时间/s
20	6.50	0.45	20.7	7.4
25	5.21	0.40	19.9	6.7
30	4.74	0.40	18.9	6.2
35	3.97	0.35	18.2	5.1
40	5.53	0.40	20.0	6.9

由表4可知,随着热风流量的增大,水分含量呈现先降低后升高的趋势,颗粒大小、润湿时间、分散时间呈现先减小后增大的趋势。造成这种现象的原因是:当热风流量在20~35 m³/h之间时,物料形成的雾滴在干燥室内停留时间长,干燥粉末未被及时带走,与新喷出的雾滴黏附在一起,致使产品颗粒较大、水分含量较高、润湿性和分散性较差,严重时会出现黏壁现象;随着热风流量的增大,物料液滴逐渐被充分干燥,颗粒逐渐减小、水分含量逐渐降低,当热风流量大于40 m³/h时,由于风速过大,物料形成的雾滴在干燥塔内停留的时间过短,使得物料不能完全干燥时就被带出干燥室,温度急剧下降的条件下致使颗粒变大、水分含量增加、润湿性和分散性变差。结果表明,控制热风流量在35 m³/h时,核桃分心木速溶粉的润湿性和分散性较为理想。

2.4 响应面试验结果

2.4.1 响应面试验设计与结果及方差分析

在单因素试验的基础上,选取对核桃分心木速溶粉速溶特性指标有显著影响的进风口温度、进料流量和热风流量3个因素,采用响应面分析法对其进行优化,利用Design-Expert V8.0.6软件进行试验设计、数据处理及模型的建立,试验方案及结果见表5。

表5 响应面试验设计方案及结果
Table 5 Experimental design and results for response surface analysis

试验号	A进风口 温度	B进料 流量	C热风 流量	Y ₁ 润湿 时间/s	Y ₂ 分散 时间/s
1	-1	-1	0	15.5	9.5
2	1	-1	0	16.8	10.3
3	-1	1	0	18.3	13.6
4	1	1	0	15.5	8.0
5	-1	0	-1	16.4	10.9
6	1	0	-1	15.6	7.5
7	-1	0	1	16.8	11.8
8	1	0	1	15.0	6.9
9	0	-1	-1	14.5	10.4
10	0	1	-1	16.6	11.4
11	0	-1	1	16.5	13.4
12	0	1	1	15.8	10.8
13	0	0	0	13.3	5.8
14	0	0	0	12.9	6.1
15	0	0	0	12.8	5.2
16	0	0	0	13.2	5.0
17	0	0	0	13.0	5.7

由回归分析结果得到核桃分心木速溶粉润湿时间预测值对进风口温度、进料流量、热风流量3个因素的二次多项回归方程如下:

$$Y_1 = 13.04 - 0.51A + 0.36B - 1.03AB - 0.70BC + 1.79A^2 + 1.69B^2 + 1.12C^2$$

表 6 润湿时间为指标的响应面回归模型方差分析结果

Table 6 Analysis of variance for the regression model of wettability						
方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	43.98	9	4.89	60.06	<0.000 1	**
A进风口温度	2.10	1	2.10	25.83	0.001 4	**
B进料流量	1.05	1	1.05	12.92	0.008 8	**
C热风流量	0.12	1	0.12	1.54	0.255 1	
AB	4.20	1	4.20	51.65	0.000 2	**
AC	0.25	1	0.25	3.07	0.123 1	
BC	1.96	1	1.96	24.09	0.001 7	**
A ²	13.53	1	13.53	166.29	<0.000 1	**
B ²	15.97	1	15.97	128.42	<0.000 1	**
C ²	5.26	1	5.26	64.63	<0.000 1	**
残差	0.57	7	0.081			
失拟项	0.40	3	0.13	3.08	0.152 7	
误差	0.17	4	0.043			
总变异	44.55	16				

注: **差异极显著 ($P<0.01$); *差异显著 ($P<0.05$)。下同。

从表6可知,建立的回归模型显著性检验结果中, A、B、AB、BC、 A^2 、 B^2 、 C^2 项的影响极显著,其余项则对核桃分心木速溶粉冲调特性无显著影响。回归模型的诊断分析表明,各因素的F值可以反应出对试验响应值的重要性,F值越大,表明该因素对响应值的影响越大,由各因素对响应值影响程度分析可得影响核桃分心木速溶粉冲调特性的主次因素均为:进风口温度>进料流量>热风流量,说明各因素对核桃分心木速溶粉润湿性的影响并非简单的线性关系。此外,回归模型中的相关系数 $R^2=0.987\ 2$, $R^2_{Adj}=0.970\ 8$,模型的信噪比为24.616,一般认为模型的可接受信噪比大于4,说明模型的拟合度和可信度较高;变异系数越小说明试验可靠性越高,本试验的变异系数为1.88,说明试验可靠性良好。

由回归分析结果得到核桃分心木速溶粉分散时间预测值对进风口温度、进料流量、热风流量3个因素的二次多项回归方程如下:

$$Y_2=5.56-1.64A-1.60AB+1.28A^2+3.51B^2+2.43C^2$$

表 7 分散时间为指标的响应面回归模型方差分析结果

Table 7 Analysis of variance for the regression model of dispersibility						
方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	128.14	9	14.24	22.97	0.000 2	**
A进风口温度	21.45	1	21.45	34.60	0.000 6	**
B进料流量	5.00×10^{-3}	1	5.00×10^{-3}	8.07×10^{-3}	0.931 0	
C热风流量	0.91	1	0.91	1.47	0.264 7	
AB	10.24	1	10.24	16.52	0.004 8	**
AC	0.56	1	0.56	0.91	0.372 5	
BC	3.24	1	3.24	5.23	0.056 1	
A ²	6.93	1	6.93	11.17	0.012 4	*
B ²	51.80	1	51.80	83.56	<0.000 1	**
C ²	24.91	1	24.91	40.19	0.000 4	**
残差	4.34	7	0.62			
失拟项	3.53	3	1.18	5.79	0.061 4	
误差	0.81	4	0.20			
总变异	132.48	16				

表7中回归方程系数显著性检验结果表明,A、AB、 B^2 、 C^2 项的影响极显著, A^2 项影响显著,其余项则对核桃分心木速溶粉无显著影响。回归模型中,相关系数 $R^2=0.967\ 2$, $R^2_{Adj}=0.925\ 1$,模型的信噪比为13.335,说明模型的拟合度和可信度较高;其变异系数为8.79,说明试验可靠性良好。

2.4.2 各因素之间交互作用响应面分析^[21-22]

为了更直观地反映响应因素对核桃分心木速溶粉润湿性及分散性的影响,对方差分析影响显著的各交互作用进行响应面分析,见图3。

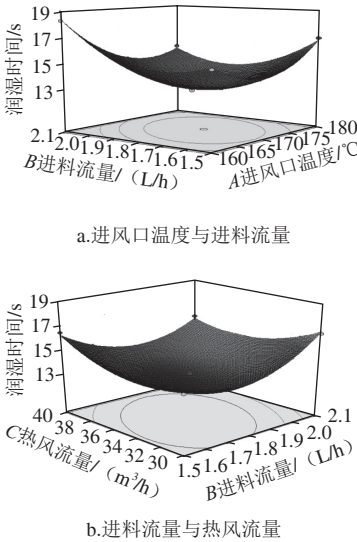


图 1 各因素交互作用对润湿时间影响的响应面图

Fig. 1 Response surface graph showing the effect of air inlet temperature and flow rate on wettability

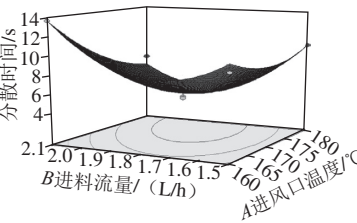


图 2 进风口温度和进料流量交互作用对分散时间影响的响应面图

Fig. 2 Response surface graph showing the effect of air inlet temperature and hot air flow rate on dispersibility

从图1a可以看出,当热风流量为 $35\text{ m}^3/\text{h}$ 不变时,核桃分心木速溶粉的润湿时间随进料流量的增加而降低,当进风口温度从 $160\text{ }^\circ\text{C}$ 增加到 $180\text{ }^\circ\text{C}$ 时,核桃分心木的润湿时间先升高后降低,响应面呈现的曲线弧度也较明显,因此AB交互作用对核桃分心木速溶粉的润湿时间有影响;图1b说明,核桃分心木速溶粉的润湿时间响应面呈现一个凹面,在进风口温度控制在 $170\text{ }^\circ\text{C}$ 时,进料流量控制在 $1.7\sim 1.9\text{ L/h}$ 的范围内,核桃分心木速溶粉的润湿

性较好,由曲面图可直观看出 AB 交互作用比 AC 交互作用对核桃分心木速溶粉润湿性影响大。

由图2可知,核桃分心木速溶粉的分散性响应面呈现较一个较均匀的凹面,核桃分心木的分散性随进风口温度和进料流量的增加而减小,说明 AB 交互作用对核桃分心木速溶粉分散性影响大,然而 AC 、 BC 两项交互作用并不是很显著。

2.5 最佳提取条件的确定及验证实验

根据核桃分心木速溶粉润湿性和分散性模型的二次回归方程,利用Design-Expert V8.0.6软件对喷雾干燥核桃分心木速溶粉反应工艺条件进行优化,得最优参数为喷雾进风口温度 $173.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、进料流量 1.81 L/h 、热风流量 $34.85\text{ m}^3/\text{h}$,得到其润湿时间的预测值为 13.05 s ,分散时间预测值为 5.17 s 。结合优化分析参数选择喷雾进风口温度 $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、进料流量 1.8 L/h 、热风流量 $35\text{ m}^3/\text{h}$ 、出风温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。王艳梅等^[23]利用分光光度法测得核桃分心木中总黄酮含量为 6.259% 。本研究工艺条件下制备的核桃分心木速溶粉的总黄酮含量为 11.630% ,润湿时间为 13.2 s ,分散时间为 5.8 s ,与预测值非常接近,这表明采用该工艺参数可靠。

3 结 论

通过对各因素对响应值影响程度分析可得影响喷雾干燥核桃分心木速溶粉润湿性及分散性的因素从大到小依次为:进风口温度、进料流量、出风温度。响应面分析法对核桃分心木速溶粉冲调特性进行优化分析,实际操作选择进风口温度 $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、进料流量 1.8 L/h 、热风流量 $35\text{ m}^3/\text{h}$ 为喷雾干燥制备核桃分心木速溶粉的最优参数。采用上述实际操作参数重新制作核桃分心木速溶粉样品进行实验,实际测得润湿时间为 13.2 s ,分散时间为 5.8 s ,与预测值非常接近,这表明采用该工艺参数可靠。

参考文献:

- [1] 茹克娅·沙德克. 维吾尔医常用药材学(维吾尔文): 下册[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1993: 323.
- [2] 阿巴拜克热·热合曼. 维吾尔医常用生药(维吾尔文)[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2004: 772.
- [3] 全国中草药汇编编写组. 中草药大辞典: 上册[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1975: 667.
- [4] 王艳, 迪丽达尔·马合木提, 韩艳春, 等. 维吾尔药核桃分心木不同提取物对肾虚模型小鼠的实验研究[J]. 新疆医科大学学报, 2012, 8(2): 35-37. DOI:10.3969/j.issn.1009-5551.2012.02.006.
- [5] 杨明珠, 田新雁, 肖朝江, 等. 核桃分心木化学成分与生物活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(6): 1707-1711. DOI:10.3969/j.issn.1001-6880.2012.12.003.
- [6] 郑绯, 赵庆国, 凌海慧, 等. 分心木化学成分及药理作用研究进展[J]. 首都医药, 2014, 21(16): 16-17. DOI:10.3969/j.issn.1005-8257.2014.16.011.
- [7] 王艳, 茹仙古丽·哈斯木, 韩艳春, 等. 苯酚-硫酸法测定维吾尔药核桃分心木多糖的含量[J]. 亚太传统医药, 2012, 8(2): 35-37. DOI:10.3969/j.issn.1673-2197.2012.02.016.
- [8] 朱青梅, 令狐晨, 阿依吐伦·斯马义. 新疆核桃分心木总皂苷的提取纯化工艺研究[J]. 西北药学杂志, 2015, 30(1): 20-23. DOI:10.3969/j.issn.1004-2407.2015.01.006.
- [9] SINGH P, TOMAR R S, RATH S K. Anticancer potential of the histone deacetylase inhibitor-like effects of flavones, a subclass of polyphenolic compounds: a review[J]. Molecular Biology Reports, 2015, 42(11): 1515-1531. DOI:10.1007/s11033-015-3881-y.
- [10] MA X, GUO Z, SHEN Z, et al. The anti-porcine parvovirus activity of nanometer propolis flavone and propolis flavone *in vitro* and *in vivo*[J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2014, 2014(1): 1-10. DOI:10.1155/2015/472876.
- [11] ZHOU M, ZHOU K, XIANG N, et al. Flavones from *Cassia siamea* and their anti-tobacco mosaic virus activity[J]. Journal of Asian Natural Products Research, 2015, 17(9): 1-6. DOI:10.1080/10286020.
- [12] WANG Q, WU J, WU X, et al. Anti-inflammatory and analgesic effects of two new flavone C-glycosides from *Panzeria alaschanica*[J]. Monatshefte fuer Chemie/chemical Monthly, 2015, 146(6): 1025-1030. DOI:10.1007/s00706-015-1414-y.
- [13] 高莉, 王艳梅, 帕提古丽·马合木提. 核桃分心木粗提物抑菌活性的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 69-71. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2008.11.008.
- [14] ZHAO W, LI L, LEI P, et al. Three new flavones from the roots and stems of *Tiandeng tobacco* and their anti-TMV activities[J]. Phytochemistry Letters, 2015, 12(1): 125-128. DOI:10.1016/j.phytol.2015.03.004.
- [15] 梁琼, 张培政. 果蔬粉的加工技术及开发价值[J]. 食品科技, 2006, 31(5): 33-35. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2006.05.012.
- [16] MARIA-INES R. Formulating drug delivery systems by spray drying[J]. Drying Technology, 2006, 24(4): 433-446. DOI:10.1080/07373930600611877.
- [17] FAVARO-TRINDADE C S, SANTANA A S, MONTERREY-QUINTERO E S, et al. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(4): 336-340. DOI:10.1016/j.foodhyd.2009.10.012.
- [18] 刘静波, 马爽, 刘博群, 等. 喷雾干燥条件对高铁蛋粉溶解特性的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 365-371. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2011.11.068.
- [19] 刘静波, 马爽, 刘博群, 等. 不同干燥方式对全蛋粉冲调性能的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(12): 383-388. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2011.12.072.
- [20] MENDIS E, RAJAPAKSE N, KIM S K. Antioxidant properties of a radical-scavenging peptide purified from enzymatically prepared fish skin gelatin hydrolysate[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2005, 53(3): 581-587. DOI:10.1021/jf048877v.
- [21] 李娟, 曹泽虹, 李超, 等. 响应面法优化黑曲霉深层发酵产内切型菊粉酶工艺[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 207-212. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201409041.
- [22] 徐明悦, 李洪军, 贺雅非, 等. 响应面法优化玉米淀粉-壳聚糖可食膜的制备工艺[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 38-43. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201516007.
- [23] 王艳梅, 白洁, 马木提·库尔班, 等. 核桃隔膜总黄酮和微量元素的测定[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 477-479. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2007.10.120.