

超临界 CO₂ 萃取银杏油工艺研究

张焕新, 臧大存, 刘靖, 展跃平 (江苏畜牧兽医职业技术学院食品科技系, 江苏泰州 225300)

摘要 [目的] 为银杏深加工和综合利用探寻一条有效途径, 为高附加值、高品质的银杏油工业化生产奠定基础。[方法] 采用单因素试验与响应面分析法相结合的方法对超临界 CO₂ 萃取银杏油的工艺条件进行了研究。单因素试验研究了原料粒度、萃取压力、萃取温度 3 个因素对萃取效果的影响, 再使用 Design Expert 6.1.1 软件分析, 对数据进行优化, 优化试验设计为 3 因素 3 水平共 15 个试验点的响应面分析试验。[结果] 经优化得出银杏油提取最优条件为: 粒度为 40 目, 萃取压力为 27 MPa, 萃取温度为 43.5 ℃, 萃取时间为 2.5 h, 在最优条件下银杏油的得率为 7.188%。[结论] 该方法可用于下一步的综合、无毒、高效利用。

关键词 银杏油; 超临界 CO₂ 萃取; 响应面分析法

中图分类号 S622.7 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)28-12114-04

Research on the Supercritical CO₂ Extraction of Ginkgo Oil

ZHANG Huan-xin et al (Food Science Department, Jiangsu Animal Husbandry and Veterinary College, Taizhou, Jiangsu 225300)

Abstract [Objective] The efficiency approach of ginkgo processing and integrated utilization was developed for the industrialization of ginkgo oil with high additional value and good quality. [Method] The supercritical CO₂ extraction of the oil in ginkgo was researched with the single factor experiment and the response surface methodology. The effect of the granulated degree of the raw material, extraction pressure and temperature on oil extraction was analyzed with the single factor experiment and the primary experimental data was optimized through the analysis of Design Expert 6.1.1. Then, the optimal design with 3 factors and 3 levels in 15 experimental spots was conducted with the response surface methodology. [Results] The optimum condition for ginkgo oil was the granulated degree of the raw material, 40 orders; the extraction pressure, 27 MPa; the extraction temperature, 43.5 ℃ and the extraction time, 2.5 h and the rate of ginkgo oil extraction was 7.188%. [Conclusion] The method could be future developed for the integrated, non-toxicity and high efficiency utilization of ginkgo oil.

Key words Ginkgo oil; Supercritical CO₂ extraction; Response surface methodology

银杏又名白果、公孙树、鸭脚子、鸭掌树, 为银杏属多年生落叶乔木, 它是我国特有的经济树种之一。银杏极富营养价值, 含有丰富的黄酮类、萜类、聚异戊烯醇类、烷基酚及酚酸类、脂肪酸糖、多元醇等多种活性化学成分, 具有改善脑血管循环、抗菌消炎、抗病毒、抗癌、解痉、抗过敏及美容等功效^[1]。此外, 银杏油中含丰富的维生素 E, 具有抗氧化, 清除人体内的自由基, 保护细胞膜, 延长循环系统中红细胞寿命的作用, 银杏的开发和利用受到愈来愈多的关注。工业生产杏仁油多采用浸渍法和冷榨法, 浸渍法提取时间长, 溶剂挥发损失较多, 提取率低, 且易造成溶剂残留; 冷榨法产率低, 精制工艺繁琐, 油品色泽不理想。超临界 CO₂ 萃取具有操作温度低、溶解能力强、无毒、无污染、无溶剂残留及产品易分离等优点, 克服了溶剂提取法在分离过程中需蒸馏加热, 油脂易氧化、酸败等缺点, 特别适合于食品工业生物活性物质和热敏性物质的分离提取。笔者对用超临界 CO₂ 萃取银杏油的工艺技术进行了探讨, 以期对银杏深加工和综合利用探寻一条有效途径, 为高附加值、高品质的银杏油工业化生产奠定基础^[2]。

1 材料与方 法

1.1 材料 银杏(产地: 江苏省泰兴市) 经去壳、破碎、预冻、冷冻干燥后密封备用。

1.2 仪器与设备 HA221-50-06 超临界流体萃取设备(江苏南通华安超临界萃取有限公司); 88-X 电热恒温真空干燥箱(上海跃进医疗器械厂); LG5 真空冷冻干燥机(上海市离心机械研究所有限公司); TILERPM200 电子天平(上海电子天平厂)。

1.3 超临界流体萃取工艺流程 经预处理的银杏 粉碎

过筛 称重 装料密封 升温、升压至特定萃取条件超临界 CO₂ 流体萃取 减压分离 银杏油^[3]。

1.4 单因素试验 控制分离工艺条件为: 分离 压力 9 MPa、温度 40 ℃ 和分离 压力 5 MPa、温度 30 ℃。对可能影响萃取效果的因素: 物料粒度、萃取压力、萃取温度进行单因素试验, 探讨其对萃取效果的影响。称取银杏粉 35 g 左右, 装入 1 L 萃取罐内进行超临界 CO₂ 萃取。提取结束后收集萃取物, 称重, 计算萃取率^[4]。

$$P(\%) = \frac{m}{M} \times 100$$

式中, P 为银杏油的得率; m 为萃取的银杏油的质量, g; M 为装料量, g。

1.4.1 粒度对萃取率的影响。 将原料粉碎后, 用筛子筛选, 按照要求依次对粒度为 30、40、50、60 目的银杏粉进行试验。控制其他萃取条件: 萃取压力为 25 MPa、萃取温度为 45 ℃、萃取时间 2 h。

1.4.2 压力对萃取率的影响。 控制工艺条件为原料粒度 40 目、萃取温度为 45 ℃、萃取时间为 2.5 h。将萃取压力分别设为 20、25、30、35 MPa 进行试验, 测得不同的萃取率。

1.4.3 温度对萃取率的影响。 控制工艺条件为原料粒度 40 目、萃取压力为 25 MPa、萃取时间 2.5 h。将萃取温度分别设为 35、40、45 和 50 ℃, 测得不同的萃取率。

2 结果与分析

2.1 超临界萃取单因素试验

2.1.1 原料粒度。 银杏经冷冻干燥粉碎后, 用筛子筛选出不同范围的颗粒大小, 控制萃取压力为 25 MPa、萃取温度为 45 ℃、萃取时间为 2 h。按照要求依次对粒度为 30、40、50 和 60 目银杏粉进行试验。样品质量依次取 35.006、35.007、35.004、35.004 g, 其萃取率依次为 3.185%、4.230%、2.328%、1.191%(图 1)。图 1 表明, 在一定粒度范围内随着粒度减小, 萃取率升高, 在粒度为 40 目时, 得率最高达 4.23%; 当粒度

基金项目 江苏省高校自然科学研究指导性计划项目(05KJD550075)。

作者简介 张焕新(1972-), 男, 河南叶县人, 在读博士, 讲师, 从事食品科学方面的研究。

收稿日期 2008-07-23

进一步降低时,得率呈下降趋势。试验结果表明,并不是粉碎粒度越小越好,过细的粒度不仅会造成CO₂流通和传质受阻,而且会造成萃取缸的出口过滤网堵塞,反而影响萃取得率。随着颗粒粒径的减小,银杏油得率增加,这是因为随着颗粒粒径的减小,物料的比表面积大大增加,从而有效提高了传质面积,有利于CO₂流体渗入物料内部,强化了传质,提高了得率。但当粒径小于40目后,随着粒径的减小,萃取率下降,这是由于颗粒粒径过小会使物料形成高密度床层,过细的粒度造成CO₂流通和传质受阻及萃取缸的出口过滤网堵塞,影响萃取得率^[8]。

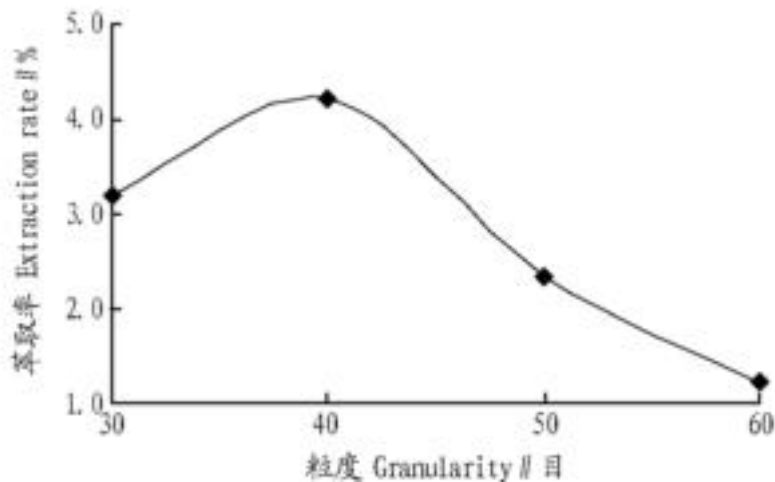


图1 粒度对萃取率的影响

Fig.1 Effects of granlarity on the extracion rate

2.1.2 萃取压力。控制其他条件为粒度40目,温度45℃,萃取时间2.5 h。分别对萃取压力20、25、30、35 MPa 进行试验。依次称取原料35.010、35.002、35.005、35.012 g,其出油率分别为4.205%、6.881%、6.743%、6.612%。由图2可知,在一定范围内,随压力升高,出油率也升高,当压力为25 MPa时,出油率达最高值为6.881%,当压力大于25 MPa,其萃取率升高较缓慢,甚至有下降趋势。

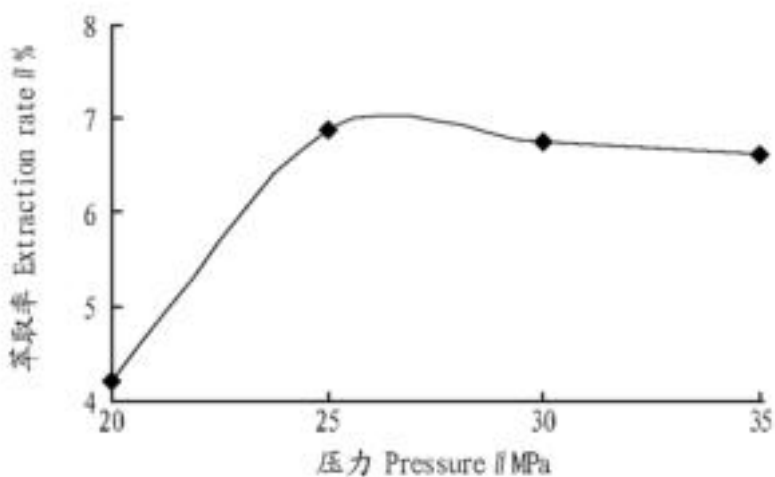


图2 压力对萃取率的影响

Fig.2 Effects of pressure on the extracion rate

2.1.3 萃取温度。控制其他条件为粒度40目,压力25 MPa,萃取时间为2.5 h。分别对不同的萃取温度35、40、45、50℃进行试验,依次称取35.007、35.002、35.013、35.007 g,其出油率分别为2.245%、2.351%、6.881%、2.080%。

由图3可知,在一定范围内,萃取率随温度的升高而升高,当温度为45℃时其萃取率达到最高值为6.881%。当温度大于45℃时,萃取率下降。在该试验中,在萃取压力恒定时,萃取率在一定范围内随温度的升高而增加,但超过一定温度,萃取率反而下降。这可能是因为在25 MPa压力下,温度升高时,因密度变化引起的溶解能力占主导地位,从而

使萃取率下降^[5]。

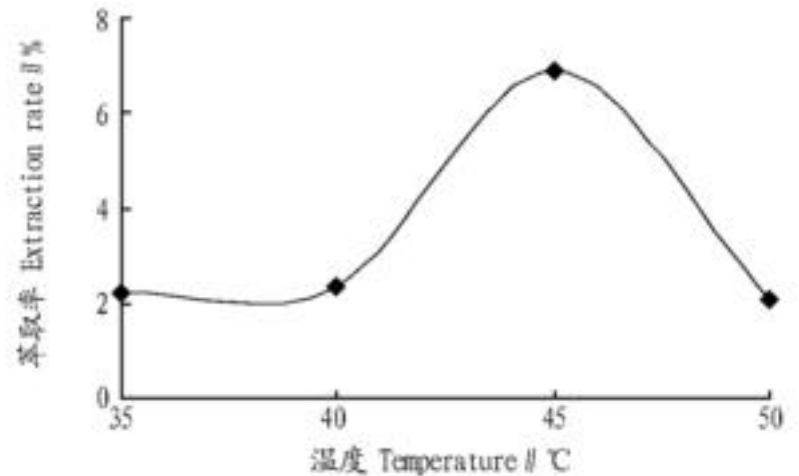


图3 温度对萃取率的影响

Fig.3 Effects of temperature on the extraction rate

2.2 超临界萃取优化试验

2.2.1 响应面因素水平的选取。使用 Design Expert 6.1.1 软件,结合上述单因素试验结果,对影响萃取效果的物料粒度、萃取温度、萃取压力3个单因素进行响应面设计,进行优化试验。根据 Box-Behnken 的中心组合试验设计原理,设计了3因素3水平共15个试验点的响应分析试验^[6],试验设计和结果见表1。

表1 超临界CO₂萃取银杏油试验的因素与水平

Table 1 Factors and levels in the test of extracting oil from Ginkgo biloba L. by supercritical CO₂ extraction method

水平 Levels	因素 Factors		
	A 温度 Temperature	B 压力 MPa Pressure	C 粒度 目 Granularity
1	40	20	30
2	45	25	40
3	50	30	50

2.2.2 响应面分析方案及结果。超临界CO₂萃取银杏油的响应曲面分析试验设计方案与试验结果见表2。

表2 超临界CO₂萃取银杏油的试验设计与试验结果

Table 2 The test design and results of extracting oil from G. biloba by supercritical CO₂ extraction method

试验序号 Est code	因素 Factors			出油率 % Oil extraction rate
	温度 Temperature	压力 MPa Pressure	粒度 目 Granularity	
1	45	25	40	7.021
2	45	30	40	5.475
3	45	25	40	6.321
4	45	25	40	6.540
5	40	20	30	2.078
6	45	25	50	3.625
7	45	25	40	6.774
8	45	25	40	6.987
9	40	25	40	3.921
10	50	25	40	3.689
11	50	20	50	3.128
12	50	30	30	1.382
13	45	20	40	3.956
14	45	25	30	4.654
15	40	30	50	2.097

2.2.3 模型的建立及显著性检验。利用 Design Expert 6.1.1 软件对表2试验数据进行分析,采用 Inverse Sqrt, 多元二次项回归模型^[7],对该模型进行方差分析及显著性检验。由表3

可知, F 值为505.1, 其 P 值为 $< 0.000 1$, 远小于0.05, 表明模型显著, 从此方差分析表中还可以看出因素一次项(B、C)、二次项(A^2 、 B^2 、 C^2)、交互项(AB、AC)对结果影响是非常显著的, 交互项BC及一次项A对结果影响不显著($P > 0.05$)。失

拟项的 P 值为0.965 3, 远大于0.05, 所以其对结果影响不显著。这表明该模型拟合程度良好, 试验误差小, 该模型是合适的, 可以用此模型对超临界萃取精油的工艺条件进行分析测定。

表3 回归模型的方差分析及显著性检验结果

Table 3 The results of variance analysis and significance test on the regression model

变异来源 Variation sources	自由度 Degree of freedom	平方和 Square sum	均方 MS Mean square	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Significance
模型 Model	9	0.27	0.030	505.10	$< 0.000 1$	显著
A	1	0.000 122 3	0.000 122 3	2.04	0.212 3	
B	1	0.002 843	0.002 843	47.48	0.001 0	
C	1	0.001 903	0.001 903	31.78	0.002 4	
A^2	1	0.042	0.042	703.10	$< 0.000 1$	
B^2	1	0.016	0.016	273.38	$< 0.000 1$	
C^2	1	0.031	0.031	513.48	$< 0.000 1$	
AB	1	0.014	0.014	236.37	$< 0.000 1$	
AC	1	0.016	0.016	260.43	$< 0.000 1$	
BC	1	2.603×10^{-9}	2.603×10^{-9}	4.348×10^{-5}	0.995 0	
残差 Residual error	5	0.001 792	5.987×10^{-5}			
失拟项 Lack of fit item	1	1.599×10^{-7}	1.599×10^{-7}	0.002 138	0.965 3	不显著
纯误差 Pure error	4	0.000 299 2	7.479×10^{-5}			
总变异 Total variation	14	0.27				

2.2.4 条件的优化。采用自动优化方法对设计进行优化, A^2 对结果影响显著, 因此仅去掉对结果影响不显著的 BC 项, 再次对模型进行方差分析, 结果见表4。从表4中可看出, 去掉BC项后, 模型的 F 值为681.88 比未优化过的 F 值变大, P 值变小, 且一次项(A、B、C)、二次项(A^2 、 B^2 、 C^2)、交互项

(AB、AC)的 P 值均小于0.05, 可得出优化后的设计对结果的影响显著。条件优化后得到的方程为: $1.0 / \text{sqrt}(\text{出油率}) = 0.39 + 0.007 848 A - 0.038 B + 0.031 C + 0.13 A^2 + 0.079 B^2 + 0.11 C^2 + 0.1 AB - 0.11 AC$ 。失拟项的 F 值为0.001 086, P 值为0.998 9, 比未优化时的 P 值大, 且远大于0.05, 所以对结果

表4 优化后的分析表

Table 4 The optimization analysis

变异来源	自由度	平方和	均方 MS	F 值	P 值	显著性
Variation sources	Degree of freedom	Square sum	Mean square	F value	P value	Significance
模型 Model	8	0.27	0.034	681.88	$< 0.000 1$	显著
A	1	0.000 369 6	0.000 369 6	7.41	0.034 6	
B	1	0.002 843	0.002 843	56.98	0.000 3	
C	1	0.001 903	0.001 903	38.14	0.000 8	
A^2	1	0.042	0.042	843.72	$< 0.000 1$	
B^2	1	0.016	0.016	328.05	$< 0.000 1$	
C^2	1	0.031	0.031	616.18	$< 0.000 1$	
AB	1	0.014	0.014	283.65	$< 0.000 1$	
AC	1	0.016	0.016	312.51	$< 0.000 1$	
残差 Residual error	6	0.000 299 3	4.989×10^{-5}			
失拟项 Lack of fit item	2	1.625×10^{-7}	8.124×10^{-8}	0.001 086	0.998 9	不显著
纯误差 Pure error	4	0.000 299 2	7.479×10^{-5}			
总变异 Total variation	14	0.27				

的影响是不显著的。

2.2.5 银杏油出油率的响应面分析^[8]。RSM 方法的图形是特定的响应面 Y 对应的因素 A、B、C 构成的一个三维空间在二维平面上的等高图, 可以直观地反映各因素对响应值的影响, 从试验所得的响应面分析图上可以找到它们在反应过程中的相互作用^[9-10], 由回归方程所作的响应曲面图及其等高线见图4、5、6。由以上3个响应面图可知, AB、AC、BC 3个因素对提取率的响应面图形呈拱形。由图4可知, 在物料粒度和萃取压力一定时, 随温度的升高, 银杏油的 $1 / \text{sqrt}(\text{出油率})$

先减小后增大即出油率先增大后减小; 当物料粒度和萃取温度一定时, 出油率随着萃取压力的升高先增大后减小。由图5可以看出, 当萃取压力和物料粒度一定时, 银杏油出油率随着萃取温度的升高先增加后减小; 当萃取温度和萃取压力一定时, 银杏油出油率随着物料粒度的减小先增加后减小。由图6可知, 在物料粒度和萃取温度一定时, 银杏油出油率随着萃取压力的升高先增加后减小; 当萃取温度和萃取压力一定时, 银杏油出油率随着物料粒度目数的变大先增加后减小。等高线的形状可反映出交互效应的强弱, 椭圆形表示两因素

交互作用显著,而圆形表示两因素交互作用不显著。由图4、5、6等高线可以看出,物料粒度和萃取压力之间交互作用不

显著,表现为等高线呈圆形。而物料粒度和萃取温度之间、萃取温度和萃取压力之间的交互作用显著,表现为等

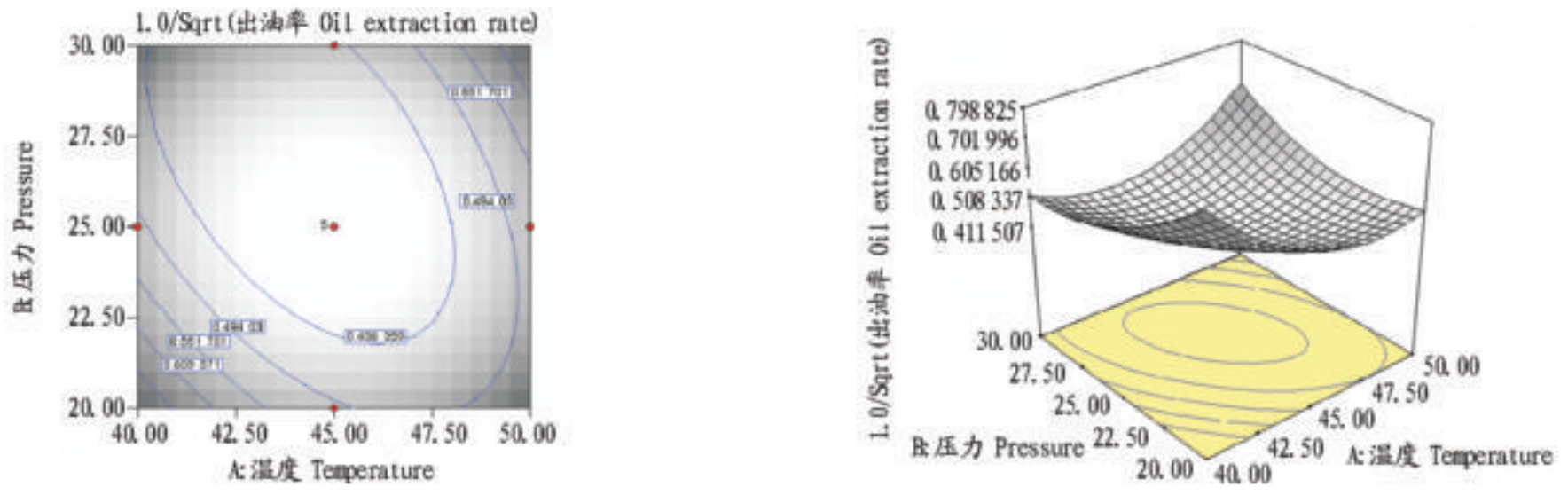


图4 超临界 CO₂ 萃取银杏油提取过程中温度、压力及其交互作用对出油率影响的响应面和等高线

Fig.4 Response surface and contour for the effects of temperature, pressure and their interaction on oil extraction rate in the extraction process of oil from G. biloba by supercritical CO₂ extraction method

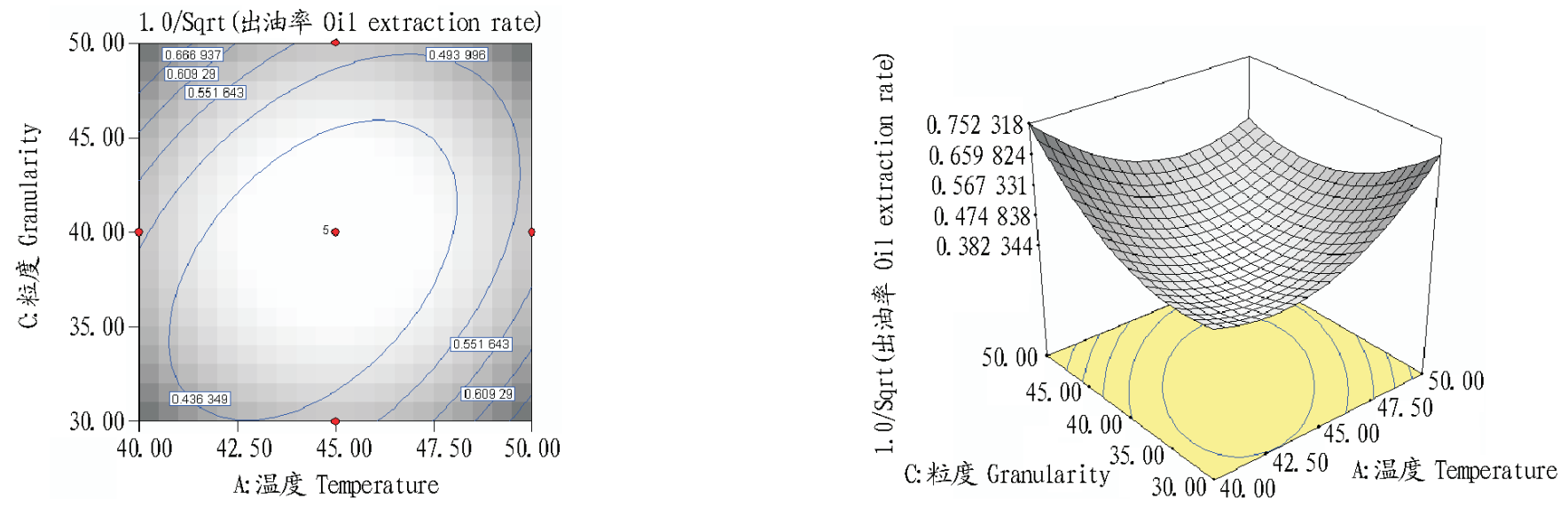


图5 超临界 CO₂ 萃取银杏油提取过程中粒度、温度及其交互作用对出油率影响的响应面和等高线

Fig.5 Response surface and contour for the effects of granularity, temperature and their interaction on oil extraction rate in the extraction process of oil from G. biloba by supercritical CO₂ extraction method

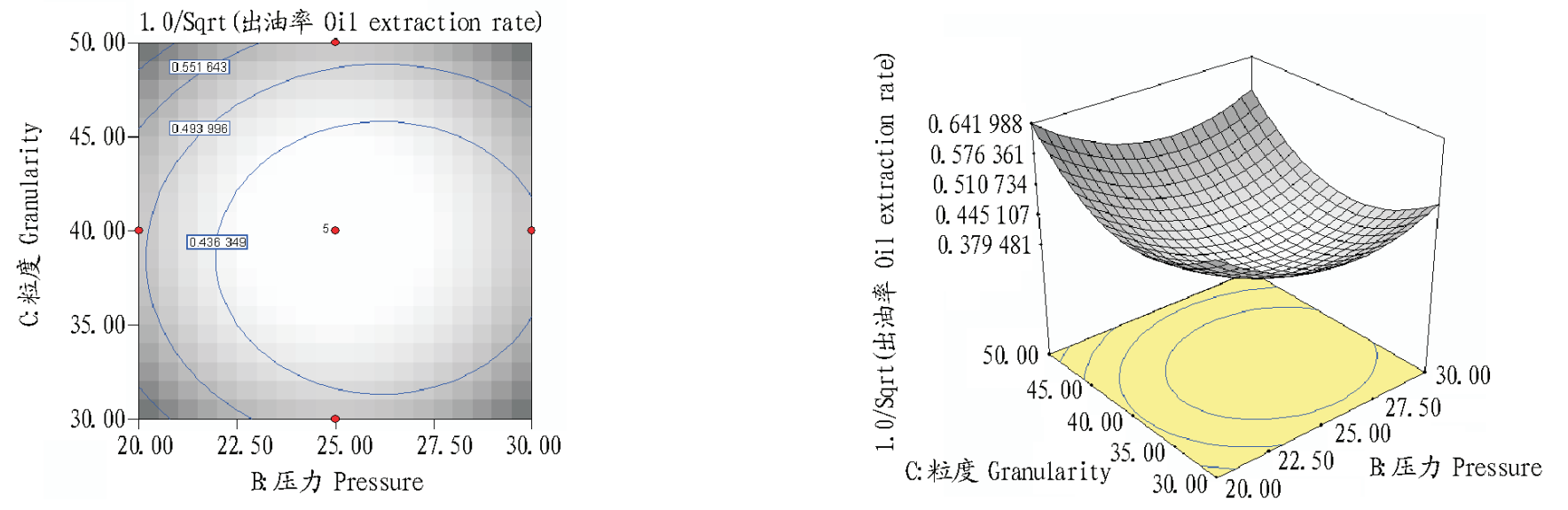


图6 超临界 CO₂ 萃取银杏油提取过程中压力、粒度及其交互作用对出油率影响的响应面和等高线

Fig.6 Response surface and contour for the effects of pressure, granularity and their interaction on oil extraction rate in the extraction process of oil from G. biloba by supercritical CO₂ extraction method

高线呈椭圆形。

2.3 验证试验 为了进一步确证最佳点的值,对试验条件进行优化,通过单因素及响应面试验中物料粒度、萃取温度、萃取压力3个因素对银杏油出油率的影响,经响应面分析法得超临界CO₂萃取银杏油的最佳条件:原料粒度35.43目,温度43.33,压力27.12 MPa。适宜的分离条件为:分离器分离压力9 MPa,温度40。分离器分离压力5 MPa,温度

为30。回归方程的预测值为1/Sqrt(出油率) = 0.373。经计算预测值出油率为7.188%。

为验证银杏油出油率的模型方程的合适性和有效性,选择萃取压力27 MPa、萃取温度43.5、原料粒度为40目、萃取时间2.5 h,分离条件为:分离器分离压力9 MPa,温度40。分离器分离压力为5 MPa,温度为30进行验证试验。此时银杏油出油率的试验值为7.148%,与预测值只有 (下转第12148页)

以达到最佳消化效果,各元素在试验范围内,加标回收率和精密度较好,加标回收率达 95%~105%,相对标准偏差(RSD)小于5%。

表6 苜蓿叶片中微量元素的光谱测定结果

Table 6 The spectrum determination results of trace elements in alfalfa leaves

元素 Element	公农1号 Gongnong No.1	中苜1号 Zhongmu No.1	美国Phabulous Phabulous of USA	美国GoldenEmpress GoldenEmpress of USA
Na	879.35	692.80	515.35	506.28
K	3870.65	2977.31	3034.13	3508.66
Ca	5684.73	4692.55	5538.14	6307.18
Mg	1649.98	1537.26	1254.90	967.84
Fe	454.33	387.66	334.57	306.49
Zn	2752.16	2635.19	2337.80	1935.42
Cu	84.36	59.53	67.77	131.45
Mn	297.54	243.93	260.30	384.56
Cr	19.17	3.78	4.35	8.28
Co	214.78	94.35	105.37	257.86

注:表中数据为5次测定的平均值。

Note: The data are the average values for 5 times of determination.

(2) 从测定结果可知,苜蓿叶片中人体所需的微量元素含量丰富,苜蓿各品种微量元素含量均表现为 $Ca > K > Zn > Mg > Na > Fe > Mn > Co > Cu > Cr$; 不同品种间,Na、Mg、Fe 和 Zn 含量为公农1号 > 中苜1号 > 美国 Phabulous > 美国 GoldenEmpress; Ca、Cu、Mn 和 Co 含量为美国 GoldenEmpress > 公农1号 > 美国 Phabulous > 中苜1号; K 和 Cr 的含量为公农1号 > 美国 GoldenEmpress > 美国 Phabulous > 中苜1号。

(3) 与普通叶菜类蔬菜相比^[5],苜蓿叶片中 Ca、Zn、Mg、Fe 和 Mn 含量较高。Ca 既可以促进骨骼和体格发育,还可以加强大脑表层的抑制过程,调节兴奋和抑制过程的平衡失调,

还有消炎、消肿抗过敏作用以及解毒作用,并与高血压呈负相关^[6]。Zn 参与人体内糖的代谢,能促进胰岛素元转变为胰岛素,并延长胰岛素的作用^[7]。Zn 参与体内100多种酶的合成^[8],缺乏锌可降低有关酶的活性而影响人体生长发育、免疫防卫、创伤愈合和生殖生育等生理功能。动物实验表明,人体内若长期缺 Mg 有可能导致染色体突变,而此种突变会诱发肿瘤,缺 Mg 可能会使免疫功能降低,使肿瘤细胞得以迅速增殖^[9]。Fe 是血红蛋白和肌红蛋白的核心部分,缺 Fe 容易导致贫血,引起氧的运输和储存不足。Mn 是多种酶的组成成分,参与人体糖和脂肪代谢。同时,苜蓿叶片中含有大量的 K,有利于降低血压,减少心血管疾病,促进糖类代谢。

开发功能性食品将是21世纪食品开发的重要领域,随着对苜蓿营养物质研究的不断深入,加之苜蓿的产量高、抗逆性强、种植面积大和资源充足,苜蓿叶片深度开发利用具有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 王爱国,曹宏.利用生物技术育种促进苜蓿产业发展[J].草业科学,2007,24(4):67-69.
- [2] 韩雪松,张玉发,吕会刚.我国苜蓿产业化发展现状与问题[J].草业科学,2002,19(2):29-30.
- [3] 王彦华,王成章,史莹华,等.苜蓿多糖的研究进展[J].草业科学,2007,24(4):50-53.
- [4] 张东杰,冯昆.苜蓿多糖抗肿瘤活性初探[J].中国食品学报,2006,6(6):40-42.
- [5] 韩金土,刘彦明,王辉.原子吸收光谱法测定清热解毒类中草药中的11种微量元素[J].光谱学与光谱分析,2006,26(10):1931-1934.
- [6] 王元忠,李淑斌,郭华春,等.大百合中微量元素测定的研究[J].光谱学与光谱分析,2007,27(9):1854-1857.
- [7] 张薇,张卓勇,施燕支,等.火焰原子吸收光谱法测定山药中多种微量元素[J].光谱学与光谱分析,2006,26(5):963-965.
- [8] 孙瑞霞,周玲妹,薛万刚,等.原子吸收光谱法测定中成药中微量元素[J].光谱学与光谱分析,2002,22(5):853-855.
- [9] 刘彦明,王辉,韩金土,等.原子吸收光谱法测定抗肿瘤中成药中微量元素[J].光谱学与光谱分析,2006,26(9):1728-1731.

参考文献

- [1] 杜文明,徐克涵.银杏的营养和药用价值[J].河北林业科技,2002(3):48.
- [2] 黄力.银杏汁的加工技术[J].果蔬加工,2004(3):34.
- [3] 陈华,李艳,赵松林.超临界流体萃取技术及其在油脂加工中的应用[J].现代农业科技,2008(1):227-229.
- [4] 马玉花,赵忠.超临界CO₂流体萃取杏仁油工艺研究[J].农业工程学报,2007,23(4):272-275.
- [5] 张慧敏,孙容芳,于同泉,等.超临界二氧化碳法萃取杏仁油的研究[J].中国粮油学报,2001,16(1):32-35.
- [6] 王钦德,杨坚.食品试验设计与统计分析[M].北京:中国农业大学出版社,2003.
- [7] 赵思明.食品科学与工程中的计算机应用[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [8] 王永菲.响应面法的理论及应用[J].中央民族大学学报,2005,14(3):236-237.
- [9] LIN Y L. Response surface methodology to supercritical fluids extraction of atenisirin and the effects on rat hepatic stellate cell in vitro[J]. J of Supercritical Fluids, 2006, 39: 48-53.
- [10] KALL N. Effect of system variables involved in packed column supercritical fluid chromatography of stavudine taken as model analyse using response surface methodology along with study of the hydrodynamic parameters[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2007, 43: 471-480.

(上接第12117页)

5.6%的误差,说明回归方程的预测值与试验值之间具有较好的拟合度。

3 结论

采用超临界流体萃取技术,以单因素试验和正交试验相结合的方法,以银杏油得率为衡量指标,利用 Design Expert 6.1.1 响应面分析软件进行响应值分析、二次多元回归拟合,然后进行方差分析,从而对回归方程进行显著性检验,可以得出因素一次项(B、C)、二次项(A²、B²、C²)、交互项(AB、AC)对结果影响是非常显著的,但一次项A及交互项(BQ)对结果影响不显著(P>0.05)。进一步对设计进行优化,得到的回归方程为: $1.0/\sqrt{\text{出油率}} = 0.39 + 0.007848A - 0.038B + 0.031C + 0.13A^2 + 0.079B^2 + 0.11C^2 + 0.11AB - 0.11AC$,经优化得出最优条件为:萃取温度43.5、萃取压力27 Mpa、原料粒度40目,此时可得最大萃取率为7.188%,研究结果为下一步综合、无毒、高效地开发利用银杏奠定了基础。