

大孔吸附树脂纯化生姜提取物中6-姜酚工艺优化*

刘伟¹ 周春丽^{1,2} 赵婧¹ 陈冬¹ 李全宏¹

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 江西科技师范学院生命科学学院, 南昌 330013)

摘要: 比较了6种大孔吸附树脂对6-姜酚的吸附和解吸性能,在静态吸附研究基础上筛选出效果较好的树脂进行动态试验,并通过HPLC-UV和GC-MS对纯化前、后的成分进行了定性和定量分析。结果表明:D101型大孔树脂更适合纯化姜油树脂中的6-姜酚,其纯化的最佳工艺条件为:上样液质量浓度2 mg/mL,流速2 mL/min,3 BV去离子水洗脱,然后用体积分数80%乙醇以2 mL/min的流速洗脱4 BV,可以使6-姜酚的纯度从1.54%提高到71.32%。

关键词: 6-姜酚 大孔树脂 纯化

中图分类号: TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)06-0237-05

引言

姜酚(gingerols)是生姜(*Zingiber officinale* Roscoe, Zingiberaceae)辛辣味的主要呈味物质和功能成分,由一系列含有 β -羟基酮结构的烷基链酚类同系物组成,其中6-姜酚(6-gingerol)的相对含量最多^[1]。近年来,国内外对于6-姜酚的功能性研究逐渐增多,研究表明6-姜酚具有一系列降低血糖、血脂、抗炎、抗癌等重要功能^[2-11]。为了今后进一步开展6-姜酚的相关功能研究以及相关产品的开发,建立6-姜酚的工业化生产的分离方法尤为重要。

目前,研究者主要通过热回流提取、微波辅助萃取、超声波辅助萃取和二氧化碳超临界萃取等方法从生姜中获得富含6-姜酚的姜油树脂,要获得6-姜酚需要进一步分离纯化^[12-15]。本文根据大孔树脂对6-姜酚的吸附和解吸特性进行初步筛选,并对大孔树脂分离、纯化6-姜酚的工艺参数进行研究。

1 材料和方法

1.1 试验材料

山东莱芜姜(购自当地超市);6-姜酚(标准品购于Sigma-aldrich上海贸易有限公司);乙腈(色谱纯,MREDA公司),其他试剂均为分析纯。AB-8、D-140、DA-201、DM-301、HPD-100A、D101型大孔树脂(均购于沧州宝恩吸附材料科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

LC-20A型高效液相色谱仪(日本岛津公司);Agilent 7890-5975C型GC/MSD气相色谱/质谱联用仪(美国安捷伦公司);MARS-II型微波萃取器(上海新仪微波化学科技有限公司);冷冻干燥机(上海比朗仪器制造有限公司);HD-4型电脑核磁共振蛋白(紫外)检测仪、D100B型数显定时蠕动泵(上海青浦沪西仪器厂)。

1.3 6-姜酚粗提取液制备工艺

参照文献[13]方法:生姜清洗、冷冻干燥48 h,粉碎,过筛(80目),料液比(物料质量(g)与乙醇溶液体积(mL)的比例)1:90、微波提取时间100 s、提取功率220 W,然后将提取液抽滤,40℃减压浓缩至无醇味,等体积石油醚萃取挥发油成分,分液除去石油醚组分,过柱。

1.4 6-姜酚含量测定

1.4.1 色谱条件

参照文献[16]的方法: Venusil XBP C18(L)色谱柱(150 Å, 4.6 mm × 250 mm, 3 μm),流动相为水(A)-乙腈(B)体系,梯度洗脱(20%~90% B, 45 min; 90%~100% B, 5 min; 100% B, 10 min),检测波长280 nm,柱温28℃,流速1 mL/min,进样量10 μL。6-姜酚粗提取液,6-姜酚标样和大孔树脂纯化后的6-姜酚色谱图如图1所示。

1.4.2 标准曲线的绘制

无水乙醇溶解6-姜酚标准品,准确配制梯度为

收稿日期: 2013-12-06 修回日期: 2014-02-08

* 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2012CB720805)和“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD23B01)

作者简介: 刘伟, 博士生, 主要从事天然产物化学研究, E-mail: liuweifvp@gmail.com

通讯作者: 李全宏, 教授, 博士生导师, 主要从事天然产物化学研究, E-mail: quanhong_li@hotmail.com

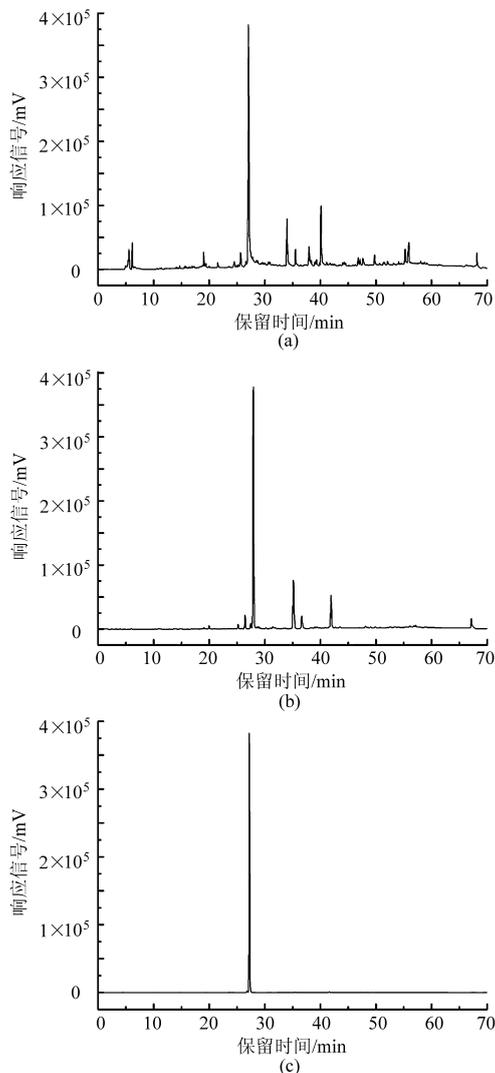


图 1 6-姜酚色谱图

Fig. 1 Hplc chromatograms of 6-gingerol

(a) 粗提取液 (b) 大孔树脂纯化后 (c) 标准品

0.50、0.75、1.00、1.25、1.50 和 1.75 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的 6-姜酚溶液,按照上述色谱条件进样,测定 6-姜酚色谱峰面积,以 6-姜酚质量浓度 ($\mu\text{g}/\text{mL}$) 为横坐标,峰面积积分值 ($\mu\text{V}\cdot\text{S}$) 为纵坐标,绘制标准曲线,得到回归方程: $Y = 5\,455.10X + 4\,575.29$ ($R^2 = 0.999\,8$),结果表明 6-姜酚在 0.50 ~ 1.75 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内呈良好的线性关系。

1.5 GC-MS 分析

采用气相色谱-质谱 (GC-MS) 联用技术对纯化前、后 6-姜酚提取液进行定性、定量分析。GC-MS 条件参照文献[17]: DB-5 石英毛细管柱 (30 m \times 0.32 mm \times 0.25 μm); 程序升温: 初温 70 $^{\circ}\text{C}$, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 280 $^{\circ}\text{C}$, 保持 20 min; 气化室温度 280 $^{\circ}\text{C}$, 进样量 1 μL , 分流比 150:1; 载气为氦气 (99.999%), 流速 1 mL/min; 电离方式 EI, 电子能量 70 eV, 离子源温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 质量扫描范围 (m/z) 33 ~ 550 amu。利用质谱 NIST08 数据库自动检索被分析组分的质谱数

据确定各成分的物质,采用峰面积归一化方法得到各主要物质的含量。

1.6 大孔树脂预处理

将大孔树脂置于体积分数 95% 乙醇中浸泡 24 h,然后用去离子水洗至无乙醇味;再用质量分数 5% HCl 溶液浸泡 8 h,用蒸馏水洗至流出水 pH 值为 7;然后用质量分数 5% NaOH 溶液浸泡 8 h,用蒸馏水洗至流出水 pH 值为 7,浸泡于去离子水中备用。

1.7 大孔树脂的静态吸附和解吸试验

将预处理好的 6 种型号大孔树脂 (AB-8、D-140、DA-201、DM-301、HPD-100A、D101) 各 1 g 分别置于 100 mL 具塞锥形瓶,加入 10 mL 质量浓度为 5 mg/mL 的 6-姜酚粗提取液,于 25 $^{\circ}\text{C}$ 空气浴振荡器中吸附 12 h,抽滤后取滤液测定剩余 6-姜酚的含量。将充分吸附后的树脂用滤纸吸干表面溶液,分别置于 100 mL 具塞锥形瓶中,各加入体积分数 95% 乙醇 10 mL,于 25 $^{\circ}\text{C}$ 空气浴振荡器中解吸 12 h,抽滤后取滤液测定 6-姜酚含量。计算不同树脂的吸附量、吸附率和解吸率,计算公式为

$$Q_1 = \frac{(C_0 - C_e) V_1}{W} \quad (1)$$

$$A = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$Q_2 = \frac{C_1 V_2}{W} \quad (3)$$

$$D = \frac{C_1}{C_0 - C_e} \times 100\% \quad (4)$$

式中 Q_1 ——6-姜酚吸附量, mg/g

A ——吸附率, % D ——解吸率, %

Q_2 ——6-姜酚解吸量, mg/g

C_0 ——起始溶液 6-姜酚质量浓度, mg/mL

C_e ——吸附平衡溶液质量浓度, mg/mL

C_1 ——解吸液 6-姜酚质量浓度, mg/mL

V_1 ——6-姜酚吸附溶液体积, mL

V_2 ——6-姜酚解吸溶液体积, mL

W ——大孔树脂质量, g

1.8 D101 型大孔树脂柱吸附分离 6-姜酚条件优化

根据静态吸附和解吸试验优选出的 D101 型大孔树脂进行动态吸附、解吸试验。取一定量 6-姜酚粗提溶液,主要研究在不同条件下通过大孔树脂柱,研究上样液 6-姜酚质量浓度、上样速率、乙醇体积分数、解吸流速对解吸率的影响。

2 结果与讨论

2.1 大孔树脂对 6-姜酚静态吸附与解吸性能试验

如表 1 所示,试验比较了 6 种不同型号大孔树

脂对6-姜酚的吸附、解吸性能,由于大孔树脂的极性、比表面积、孔径等性质的不同,导致不同大孔树脂对6-姜酚的吸附和解吸性能的差异。其中非极性大孔树脂D-140、HPD-100A和D101的吸附率

和解吸率都相对较高,吸附率超过90%,解析率超过70%。为了最大程度回收6-姜酚,选取以上3种大孔树脂进一步研究静态吸附、解吸能力。

表1 大孔树脂主要物理性能及对6-姜酚静态吸附和解吸结果

Tab.1 Physical properties of six kinds of macroporous resins and results of static adsorption-desorption of different macroporous resins to 6-gingerol

树脂型号	极性	粒径范围 /mm	比表面积 /($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	平均孔径 /Å	吸附量 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	吸附率 /%	解吸量 /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	解吸率 /%
AB-8	弱极性	0.3~1.25	480~520	130~140	45.82	91.64	32.74	71.45
D-140	非极性	0.3~1.25	90~150	25~30	47.33	94.66	34.09	72.03
DA-201	极性	0.3~1.25	500~550	100~120	45.78	91.56	30.14	65.83
DM-301	中极性	0.3~1.25	330~500	25~30	38.25	76.50	25.62	66.98
HPD-100A	非极性	0.3~1.25	650~700	100~110	48.05	96.10	36.32	75.59
D101	非极性	0.3~1.25	500~550	90~100	47.12	94.23	33.65	71.41

图2比较了D-140、HPD-100A、D101型大孔树脂在12h吸附和洗脱过程中速率的变化,其中D101型大孔树脂达到吸附和解吸平衡的时间最短,虽然D101型大孔树脂的吸附率和解吸率略少于HPD-100A型大孔树脂,综合考虑时间和成本的因素,选择D101型大孔吸附树脂用于6-姜酚的研究。

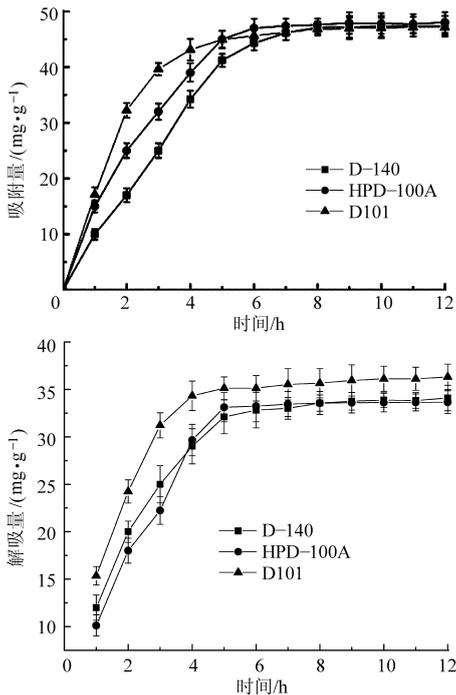


图2 大孔树脂对6-姜酚静态吸附和解吸曲线
Fig.2 Static adsorption curves and desorption curves of different types of macroporous resin to 6-gingerol

2.2 D101型大孔树脂柱吸附分离6-姜酚条件优化

2.2.1 上样液质量浓度对大孔树脂吸附性能的影响

称取20g处理好的D101型大孔树脂湿法装柱(1cm×35cm),配制6-姜酚质量浓度分别为1、2、3、4和5mg/mL的5mL样品以2mL/min的流速上

样进行动态吸附,3BV去离子水洗脱样品,收集流出液,测定6-姜酚动态吸附率分别为78.32%、85.22%、73.43%、54.78%和45.12%。当上样液6-姜酚的质量浓度为2mg/mL时达到最高吸附率,继续提高质量浓度,吸附率逐渐降低。这可能是因为随着上样液6-姜酚质量浓度提高,大孔树脂的吸附量也随之增加,但是与6-姜酚竞争吸附的多糖、蛋白质等水溶性物质也会增加,导致大孔树脂对6-姜酚的特异性吸附能力减弱。因此,上样液6-姜酚的质量浓度选择2mg/mL。

2.2.2 上样速率对大孔树脂吸附性能的影响

5mL、2mg/mL 6-姜酚上样液,3BV去离子水洗脱条件下,研究上样流速分别为1、2、3、4和5mL/min对大孔树脂吸附性能的影响。计算6-姜酚的吸附率分别为89.86%、85.22%、78.76%、69.97%和61.35%。结果表明随着上样液流速增大,大孔树脂的吸附率逐渐减少。可能是因为流速过高,目标化合物来不及扩散到树脂的表面,树脂不能进行充分的吸附。综合考虑时耗和吸附效率,上样速率选择2mL/min。

2.2.3 乙醇体积分数对于解吸率的影响

5mL、2mg/mL 6-姜酚上样液以2mL/min速率上样,3BV去离子水洗脱条件下,解吸液体积为3BV,研究体积分数为20%、40%、60%、80%和100%的乙醇以2mL/min流速解吸对于解吸率的影响。计算解吸率分别为36.76%、56.32%、78.43%、85.12%和75.42%。结果说明随着乙醇浓度的增加,6-姜酚的解吸率不断增大,当乙醇体积分数达到80%时,6-姜酚解吸率达到最大值,随着乙醇体积分数继续增大,6-姜酚解析率反而下降。可能是由于体积分数为80%的乙醇更有利于6-姜酚

的溶解,另外乙醇浓度的增加反而削弱了6-姜酚与大孔树脂之间的作用力,因此选用体积分数80%乙醇作为解吸剂。

2.2.4 解吸流速对于解吸率的影响

5 mL、2 mg/mL 6-姜酚上样液以 2 mL/min 速率上样,3 BV 去离子水洗脱,解吸液体积为 3 BV 条件下,研究流速分别为 1、2、3、4 和 5 mL/min,体积分数为 80% 乙醇对于解吸率的影响。计算得到 6-姜酚的解吸率为 85.94%、85.12%、80.34%、72.65% 和 61.23%。说明随着解吸剂流速的增加,6-姜酚的解吸率呈下降的趋势。可能是因为流速的加快导致解吸剂与大孔树脂的不能充分接触,不能使吸附在大孔树脂中的 6-姜酚充分被解吸出来。考虑到流速过低会增加纯化周期和成本,因此选择解吸速率为 2 mL/min。

2.2.5 解吸液体积对于解吸率的影响

5 mL、2 mg/mL 6-姜酚上样液以 2 mL/min 速率上样,3 BV 去离子水洗脱条件下,解吸液体积为 3 BV 条件下,体积分数 80% 乙醇以 2 mL/min 流速解吸,每 1 BV 收集 1 份,共收集 5 份,研究不同解吸液体积对于解吸率的影响。计算得到 6-姜酚的解吸率分别为 35.44%、30.32%、21.42%、9.02% 和 1.78%。结果说明 80% 的乙醇就可以将大部分吸附在树脂上的 6-姜酚洗脱下来,因此选择解吸液体积为 4 BV。

2.3 工艺验证试验

取 1 cm × 35 cm 层析柱,湿法装柱,5 mL、2 mg/mL 6-姜酚上样液以 2 mL/min 速率上样,3 BV 去离子水洗脱,解吸液体积为 4 BV 条件下,体积分数 80% 乙醇以 2 mL/min 流速解吸。分别将 6-姜酚粗提取液和洗脱液用旋转蒸发器除去乙醇后冷冻干燥,得到油状物,准确称量 6-姜酚提取物和纯化产物各 0.01 g,用体积分数 95% 乙醇定容,测定 6-姜酚纯度。结果得到纯化产物中 6-姜酚纯度由 1.54% 提高到 71.32%。

2.4 姜油树脂纯化前后主要成分的对比较

微波辅助萃取得到的姜油树脂和经过 D101 型大孔树脂柱纯化后得到产物经 GC-MS 分析所得到的总离子色谱图如图 3 所示,纯化后的姜油树脂的成分明显减少。经 NIST08 质谱库自动检索分析质谱数据并参照相关文献[18-19],在姜油树脂中共分析出 34 种成分,纯化后的产物中分析出 7 种成分如表 2 所示。姜油树脂中主要成分包含挥发油和姜辣素,姜酮(*Zingerone*)含量最高占 12%,纯化后主要产物主要由姜辣素组成,姜酮(*Zingerone*)占 44%。Jolad 等通过高效液相色谱质谱证实姜酮不

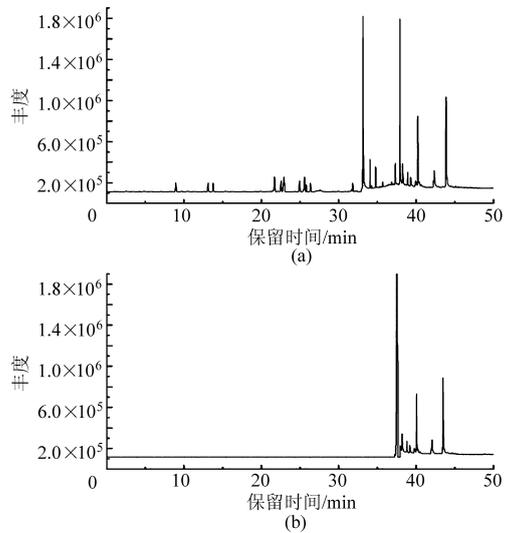


图 3 6-姜酚粗提取液总离子流图

Fig. 3 GC-MS total ion chromatogram of 6-gingerol

(a) 粗提取液 (b) 大孔树脂纯化后

表 2 6-姜酚粗提取液和大孔树脂纯化后主要化学成分及相对含量

Tab. 2 Main chemical compositions and relative content of crude extract of 6-gingerol and macroporous adsorption resin purification of 6-gingerol

序号	保留时间 /min	化合物	纯化前相对含量	纯化后相对含量
1	8.96	Octanal	0.01	
2	13.12	Borneol	0.01	
3	13.77	Alpha-terpineol	0.01	
4	21.71	Decanal	0.03	
5	22.54	Nerol	0.03	
6	22.99	Geraniol	0.02	
7	24.93	Eugenol	0.02	
8	25.56	Beta-eudesmol	0.03	
9	25.78	Methyl eugenol	0.01	
10	26.37	trans-Isoeugenol	0.01	
11	31.82	Alpha-zingiberene	0.01	
12	34.15	ar-Curcumene	0.01	
13	34.50	Gamma-curcumene	0.15	
14	34.62	trans-Beta-farnesene	0.02	
15	35.73	(E,E)-Alpha-farnesene	0.04	
16	36.43	Beta-sesquiphellandrene	0.01	
17	36.51	Alpha-calacorene	0.02	
18	36.87	Elemol	0.09	
19	37.52	Zingerone	0.12	0.44
20	38.40	Palmitic acid	0.03	
21	38.49	Oleic acid	0.09	0.02
22	39.29	Stearic acid	0.02	
23	39.62	Linoleic acid	0.01	
24	39.73	cis-[6]-Shogaol	0.01	0.21
25	40.08	[6]-Paradol	0.06	0.01
26	40.66	[6]-Gingerol	0.03	0.02
27	40.98	[6]-Gingerdione	0.01	0.08
28	41.00	trans-[6]-Shogaol	0.01	
29	41.59	Diacetoxy-[6]-gingerdiol	0.02	
30	42.41	Acetoxy-[6]-Gingerol	0.01	0.08
32	42.44	Methyl diacetoxy-[6]-gingerdiol	0.01	
33	44.05	1-Dehydro-[6]-gingerdione	0.01	0.11
34	44.14	trans-[10]-Shogaol	0.01	
总计			0.98	0.97

是生姜的天然成分,是 6-姜酚的反醛醇裂解产物,可以在气相色谱的条件下生成。从而说明经过 D101 型大孔树脂柱纯化可以有效提高姜油树脂中 6-姜酚的含量^[19]。

3 结论

(1) D101 型大孔树脂分离纯化 6-姜酚的最佳

条件为:质量浓度 2 mg/mL,流速 2 mL/min,3 BV 去离子洗脱,用体积分数 80% 乙醇以 2 mL/min 的流速洗脱 4 BV。

(2) 在最佳工艺条件下,可以使姜油树脂中 6-姜酚的纯度从 1.54% 提高到 71.32%。

参 考 文 献

- 1 Ali B H, Blunden G, Tanira M O, et al. Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): a review of recent research [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(2): 409 - 420.
- 2 Singh A B, Akanksha, Singh N, et al. Anti-hyperglycaemic, lipid lowering and anti-oxidant properties of [6]-gingerol in db/db mice [J]. International Journal of Medicine and Medical Sciences, 2009, 1(12): 536 - 544.
- 3 Chakraborty D, Mukherjee A, Sikdar S, et al. [6]-Gingerol isolated from ginger attenuates sodium arsenite induced oxidative stress and plays a corrective role in improving insulin signaling in mice [J]. Toxicology Letters, 2012, 210(1): 34 - 43.
- 4 Nigam N, Bhui K, Prasad S, et al. [6]-Gingerol induces reactive oxygen species regulated mitochondrial cell death pathway in human epidermoid carcinoma A431 cells [J]. Chemico-Biological Interactions, 2009, 181(1): 77 - 84.
- 5 Lee H S, Seo E Y, Kang N E, et al. [6]-Gingerol inhibits metastasis of MDA - MB - 231 human breast cancer cells [J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2008, 19(5): 313 - 319.
- 6 Chakraborty D, Bishayee K, Ghosh S, et al. [6]-Gingerol induces caspase 3 dependent apoptosis and autophagy in cancer cells: Drug-DNA interaction and expression of certain signal genes in HeLa cells [J]. European Journal of Pharmacology, 2012, 694(1 - 3): 20 - 29.
- 7 Lee S H, Cekanova M, Baek S J. Multiple mechanisms are involved in 6-gingerol-induced cell growth arrest and apoptosis in human colorectal cancer cells [J]. Molecular Carcinogenesis, 2008, 47(3): 197 - 208.
- 8 Young H Y, Luo Y L, Cheng H Y, et al. Analgesic and anti-inflammatory activities of [6]-gingerol [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2005, 6(1 - 2): 207 - 210.
- 9 Tripathi S, Maier K G, Bruch D, et al. Effect of 6-gingerol on pro-inflammatory cytokine production and costimulatory molecule expression in murine peritoneal macrophages [J]. Journal of Surgical Research, 2007, 138(2): 209 - 213.
- 10 Dugasani S, Pichika M R, Nadarajah V D, et al. Comparative antioxidant and anti-inflammatory effects of [6]-gingerol, [8]-gingerol, [10]-gingerol and [6]-shogaol [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2010, 127(2): 515 - 520.
- 11 van Breemen R B, Tao Y, Li W. Cyclooxygenase-2 inhibitors in ginger (*Zingiber officinale*) [J]. Fitoterapia, 2011, 82(1): 38 - 43.
- 12 李立, 朱晓薇, 李爽. 高效液相色谱法测定生姜中 6-姜酚的含量 [J]. 天津中医药大学学报, 2012, 31(1): 36 - 39.
Li Li, Zhu Xiaowei, Li Shuang. Determination of 6-gingerol in ginger by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, 2012, 31(1): 36 - 39. (in Chinese)
- 13 汤秀华, 周郑虹. 微波辅助萃取法从生姜中提取姜辣素的工艺 [J]. 食品研究与开发, 2012, 33(8): 88 - 92.
Tang Xiuhua, Zhou Zhenghong. Study on microwave-assisted extraction of gingerol in ginger [J]. Food Research and Development, 2012, 33(8): 88 - 92. (in Chinese)
- 14 孔繁东, 王恋峰, 祖国仁, 等. 超声波辅助提取姜渣中姜辣素工艺研究 [J]. 中国酿造, 2010, 214(1): 102 - 105.
Kong Fandong, Wang Lianfeng, Zu Guoren, et al. Study on the extraction of gingerol in ginger slag with supersonic radiation [J]. China Brewing, 2010, 214(1): 102 - 105. (in Chinese)
- 15 张德权, 吕飞杰, 台建祥. 超临界 CO₂ 流体技术萃取姜油树脂的研究 [J]. 食品工业科技, 2001, 22(1): 21 - 23.
Zhang Dequan, Lü Feijie, Tai Jianxiang. Study on extracting ginger oleoresin by supercritical CO₂ [J]. Science and Technology of Food Industry, 2001, 22(1): 21 - 23. (in Chinese)
- 16 Cheng X L, Liu Q, Peng Y B, et al. Steamed ginger (*Zingiber officinale*): changed chemical profile and increased anticancer potential [J]. Food Chemistry, 2011, 129(4): 1785 - 1792.
- 17 刘云, 朱欣婷. 枇杷叶总黄酮大孔树脂纯化工艺优化 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(11): 55 - 59.
Liu Yun, Zhu Xinting. Optimization of purification process for total flavonoids from leaves of *Eriobotrya japonica* by macroporous resin [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2012, 18(11): 55 - 59. (in Chinese)
- 18 Jolad S D, Lantz R C, Solyom A M, et al. Fresh organically grown ginger (*Zingiber officinale*): composition and effects on LPS-induced PGE₂ production [J]. Phytochemistry, 2004, 65(13): 1937 - 1954.
- 19 战琨友, 王超, 徐坤, 等. 气相色谱-质谱技术分析姜油树脂中的挥发性及非挥发性成分 [J]. 色谱, 2008, 26(6): 692 - 696.
Zhan Kunyou, Wang Chao, Xu Kun, et al. Analysis of volatile and non-volatile compositions in ginger oleoresin by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2008, 26(6): 692 - 696. (in Chinese)

- Ren Luquan, Peng Zongyao, Chen Qinghai, et al. Experimental study on efficiency enhancement of centrifugal water pump by bionic non-smooth technique[J]. Journal of Jilin University:Engineering and Technology Edition,2007,37(3): 101-103. (in Chinese)
- 14 田丽梅,任露泉,彭宗尧. 仿生非光滑离心式水泵增效节能特性数值模拟[C]//中国农业机械学会2008年学术年会论文集,2008:341-345.
- 15 任露泉,田丽梅,陈庆海,等. 一种离心式仿生耦合泵:中国,101984258A[P]. 2011-03-09.
- 16 任志安,张栋栋,孙治谦. 仿生耦合技术在流体机械领域的应用[J]. 石油和化工设备,2012,3(3):12.
- 17 张德胜,施卫东,张华,等. 轴流泵叶轮端壁区流动特性数值模拟[J]. 农业机械学报,2012,43(3):73-77.
Zhang Desheng, Shi Weidong, Zhang Hua, et al. Numerical simulation of flow field characteristics in tip clearance region of axial-flow impeller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(3):73-77. (in Chinese)
- 18 Launder B E, Spalding D B. Lectures in mathematical models of turbulence[M]. London:Academic Press, 1972.
- 19 Per-Anders H, Gran S. Dynamic finite element analysis of fluid-filled pipes[J]. Computer Method in Applied Mechanic and Engineering,2008,190(24): 3111-3120.

Fluid Control Mechanism of Mosaic Bionic Coupling Functional Surface

Tian Limei¹ Wang Yinci¹ Gao Zhihua¹ Shang Zhen² Ren Luquan¹
(1. Key Laboratory of Bionic Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China
2. College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract: Dolphin's special mosaic skin structure has characteristic of drag reduction. Imitating this special structures, a kind of bionic coupling functional surface was designed. Two-way fluid-solid coupling simulation was carried out on the mosaic bionic coupling functional surface using ANSYS-Workbench software, while the fluid calculation used the standard turbulence model, and the solid calculation used transient structural. The simulation result showed that the turbulent kinetic energy and the surface speed of the coupling functional surface were significantly reduced, and the flexible material produced displacement deformation. The above simulation result indicated, that the flexible material of surface coupled with non-smooth structures of substrate through conforming fluid medium to achieve the control purpose. The elastic deformation of surface material absorbed part of energy, and effectively reduced the turbulent kinetic energy of the fluid medium, to avoid the energy loss caused by excessive exchange between the fluid-solid interface.

Key words: Bionic coupling functional surface Mosaic Fluid control mechanism

(上接第 241 页)

Purification of 6-gingerol from Oleoresin with Macroporous Resin

Liu Wei¹ Zhou Chunli^{1,2} Zhao Jing¹ Chen Dong¹ Li Quanhong¹
(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. School of Life Science, Jiangxi Science and Technology Normal University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to separate and purify 6-gingerol from oleoresin by macroporous resin, 6 kinds of macroporous resins were chosen to carry out static and dynamic adsorption-desorption experiments. Qualitative and quantitative analysis of purification results were analyzed by HPLC-UV and GC-MS. The results showed that D101 was the optimal macroporous resin for separating and purifying 6-gingerol, the best technology parameters were as follows: sample concentration of 2 mg/mL, distilled water of 3 BV, 80% ethanol for elution velocity of 2 mL/min, elution volume of 4BV. Under these conditions, the purity of 6-gingerol enhanced from 1.54% to 71.32%.

Key words: 6-gingerol Macroporous Purification