

食用植物油对红曲黄色素合成代谢的影响

周波^{1,2,3}, 钟海雁^{1,2,3}, 林亲录^{1,2,3}

(1. 稻谷及副产物深加工国家工程实验室, 湖南长沙 410004;
2. 粮油深加工与品质控制湖南省重点实验室, 湖南长沙 410004;
3. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南长沙 410004)

摘要:研究了六种食用植物油对红曲霉突变菌株合成代谢黄色素和橘霉素的影响。结果表明:橄榄油是唯一对红曲黄色素的合成代谢有明显促进作用的食用植物油,橄榄油添加浓度为0.5g/L时,黄色素合成代谢量提高了92.40%。就橘霉素的代谢生成而言,除芝麻油对橘霉素的合成代谢量有明显的促进作用,其余食用植物油对橘霉素的合成代谢量都有一定的消除作用或影响不明显,茶油的消除效果最明显,其次为橄榄油、花生油和玉米油。

关键词:红曲黄色素,橘霉素,橄榄油,茶油,芝麻油

Effect of edible plant oil on yellow pigments production by *Monascus anka* mutant MYM2

ZHOU Bo^{1,2,3}, ZHONG Hai-yan^{1,2,3}, LIN Qin-lu^{1,2,3}

(1. National Engineering Laboratory of Rice and by-products Processing, Changsha 410004, China;
2. Hunan Province Key Laboratory of Grain&Oil Processing and Quality Control, Changsha 410004, China;
3. School of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: Some plant oil had been researched on yellow pigments and citrinin production by *Monascus anka* mutant MYM2. The results showed that there had obvious effects for olive oil to improve monascus yellow pigments production, when the concentration of olive oil was 0.5g/L, the yellow pigments yield was increased 92.40%. As far as citrinin was concerned, beside of sesame oil, there had obvious elimination effects on citrinin production by *Monascus anka* mutant MYM2 for camellia oil, olive oil, peanut oil and corn oil successively.

Key words: monascus yellow pigments; citrinin; olive oil; camellia oil; sesame oil

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)13-0092-05

红曲是一种东南亚的传统产品,在我国已有数千年的应用历史。红曲色素作为一种天然色素,其安全性高,经急性毒性实验、慢性毒性实验、致突变性实验和致畸变实验都证明其是无毒的,故红曲色素现已广泛应用于各种食品中^[1]。在食品安全问题日益受到关注的今天,由此类天然色素取代人工合成色素的前景广阔。红曲色素属于聚酮类色素,由6种结构相近的成分组成,安卡红曲黄素(Ankaflavine)与红曲素(Monascin)为黄色素,橙色素为红斑红曲素(Rubropunctatine)与红曲玉红素(Monascorubrine),红斑红曲胺(Rubropunctamine)与红斑玉红胺(Monascorubramine)为红色素。其中黄色素作为一类主要的食用色素品种,通常占市场需求量的60%以

上,故红曲黄色素的开发研究具有广阔的前景及重大的经济效益。日本目前已实现了红曲黄色素的工业化生产,红曲黄色素在国内已有市售产品,但黄色素色价不到30个单位;或黄色素色价能达到80以上单位,但黄色素色调不到1^[1-2]。而国外的专利和文献报道,选育出的菌株液态发酵的黄色素色价高或黄色素色调水平比较高,黄色素色调能达到3~4,但黄色素色价不到60单位左右^[3],黄色素色价达到100单位左右的,但是黄色素色调不到1.5^[4]。泰国在这方面的研究有特色,他们通过诱变得得到单产黄色素的菌株,经过二十多年的研究取得不错的成绩^[5-9],但据证实还没有实现产业化。虽然红曲霉菌合成代谢红曲色素和菌毒素橘霉素的机理还没完全研究清楚,但影响它们合成代谢的关键酶都是聚酮合成酶,红曲色素和橘霉素都是通过聚酮化合物衍生而成^[10]。红曲色素是一类聚酮化合物,以乙酰CoA为基本构成单位聚合而成生色基团,生色基团与脂肪酸聚合成不同的红曲色素。红曲橘霉素与青霉橘霉素的代谢合成途径不同之处之一在于前者是以四酮体化合物为代谢分支

收稿日期: 2011-11-14

作者简介: 周波(1978-),男,博士,副教授,研究方向:微生物发酵和本油脂加工。

基金项目: 中南林业科技大学青年科学基金重点项目。

点,后者是以五酮体化合物为代谢分支点^[10]。本实验室通过物理化学诱变获得一株高产黄色素的红曲霉突变菌株(*Monascus anka mutant MYM2*)^[11],并对其合成代谢黄色素的特性进行了研究,也证实其合成代谢的黄色素是安卡红曲黄素(Ankaflavine)和红曲素(Monascin)^[12-15]。这说明红曲霉突变菌株合成代谢红曲色素和橘霉素的机理跟其它红曲霉菌种合成代谢色素和橘霉素的机理基本一样。有研究报道,添加适量的食用植物油有利于红曲红色素的合成代谢^[16]。本文根据红曲色素和橘霉素合成代谢的相关报道^[10, 16-20],来研究一些食用植物油对红曲霉突变菌株合成代谢黄色素和橘霉素的影响,希望能筛选出一种或几种能提高黄色素的合成代谢量以及消除橘霉素的合成代谢的化学物质,从而为实现红曲黄色素的工业化生产提供一定的技术支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

红曲霉突变菌株(*Monascus anka mutant MYM2*)

华南理工大学生化工程研究室保存;橄榄油 意大利进口的Extra virgin级别的橄榄油;茶油 湖南邦尔泰苏仙油脂有限公司的低温冷榨纯茶籽油;玉米油 山东西王食品有限公司生产的西王玉米胚芽油(通过压榨后精炼而成);芝麻油 益海嘉里食品营销有限公司生产的金龙鱼牌芝麻油(100%纯);花生油 山东鲁花集团有限公司生产的鲁花5S纯物理压榨花生油;蓖麻油 佛山市南海达成化工有限公司生产的精炼蓖麻油;其余化学试剂 广州市化学试剂厂,均为分析纯;斜面种培养基 麦芽汁琼脂培养基(麦芽汁由广东珠江啤酒有限公司提供);种子培养基(g/L) 玉米粉30,硝酸钠3,FeSO₄·7H₂O 0.01,磷酸二氢钾4,pH6.0;发酵培养基(g/L) 氯化铵15,可溶性淀粉70,葡萄糖20,玉米浆10,KH₂PO₄ 5,初始pH4.0,添加物种类和浓度根据实验设计需要变化,培养基均在121℃饱和蒸汽灭菌20min。

2802SUV/VIS紫外可见分光光度计 上海尤尼科斯科学仪器有限公司;C25KC型全温摇床 美国New Brunswick Scientific公司;SPX-250B-Z型生化培养箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;ER-180A型电子天平 日本A&D公司;Aglient 1100液相色谱 美国安捷伦科技有限公司;Scientz IID超声波细胞破碎机 宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.2 种子培养和发酵方法

斜面种在32℃下培养2~3d;种子液在32℃,160r/min培养2~3d;摇瓶发酵条件为250mL三角瓶装30mL培养基,160r/min,32℃下培养7d,所有发酵实验均三个平行,计算平均值。

1.3 分析方法

1.3.1 胞外色价测定^[11]。

1.3.2 胞内色价测定^[11]。

1.3.3 总黄色素色价的计算 总黄色素色价(U/mL)=胞外黄色素色价+胞内黄色素色价。

1.3.4 色调的计算 色调=黄色素色价/红色素色价。

1.3.5 细胞干重(DCW)的测定 吸取5mL发酵液,

4000r/min离心20min,去上清液,沉淀用蒸馏水洗涤,4000r/min离心20min,去上清液,重复三次后沉淀于80℃烘箱中烘至恒重。

1.3.6 橘霉素的检测^[21] 橘霉素测定标准曲线为: $y=27.11x-70.647$ (稀释倍数为100~300),其中y为峰面积,x为橘霉素浓度(mg/L)。

2 结果与分析

2.1 玉米油对红曲霉突变菌株合成代谢黄色素和橘霉素的影响

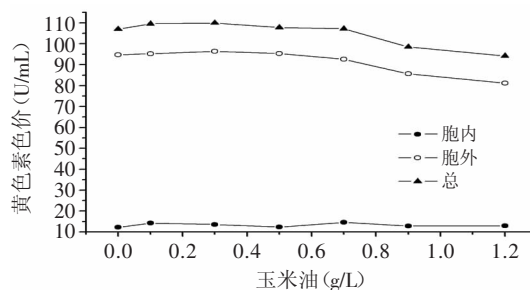


图1 玉米油对红曲黄色素合成代谢的影响

Fig.1 Effect of corn oil on *Monascus* yellow pigments production

图1的研究结果表明,添加适量的玉米油(0.1~0.7g/L)对红曲黄色素的合成代谢影响不明显,但当玉米油浓度增加到0.9g/L时,红曲黄色素的合成代谢量下降,胞内黄色素色价和总黄色素色价分别是没添加玉米油的90.43%和92.06%。继续增加玉米油添加量时,胞内和总黄色素色价明显下降。

从表1中得知,添加适量的玉米油在培养基中能消除橘霉素的合成代谢,从0.31mg/L下降到0.15mg/L,橘霉素含量下降了一半。玉米油对红曲霉突变菌株的生长影响不是很大,细胞干重都维持在19~21g/L之间,这说明玉米油不是作为红曲霉突变菌株生长的底物而可能是代谢产物形成的底物。在一定玉米油添加浓度范围内,玉米油不利于黄色素得率的提高。

表1 玉米油对红曲黄色素发酵的影响

Table 1 Effect of corn oil on *Monascus* yellow pigments fermentation

玉米油 (g/L)	橘霉素 (mg/L)	细胞干重 (g/L)	相对于细胞干重黄色素得率 (U/g)
0	0.31±0.031	20.90±1.748	5117.86
0.1	0.28±0.062	20.11±1.461	5447.61
0.3	0.28±0.036	20.46±1.730	5372.76
0.5	0.27±0.042	19.72±1.503	5462.98
0.7	0.23±0.082	20.36±1.442	5263.92
0.9	0.19±0.084	19.99±1.603	4924.98
1.2	0.15±0.033	20.11±1.615	4683.36

有研究报道^[16],添加适量的玉米油作为培养基成分,能提高红色素得率两倍。而在本文研究中无论添加多少玉米油,玉米油的添加不利于红曲黄色素的合成代谢,红曲黄色素得率并没有任何的提高,这与此研究报道有所不同。

2.2 橄榄油对红曲霉突变菌株合成代谢黄色素和橘霉素的影响

从图2可以得知,适量橄榄油的添加是有利于胞

外和胞内红曲黄色素的合成代谢,当橄榄油的添加浓度达到0.5g/L时,胞外和胞内红曲黄色素的合成代谢量达到最大,分别比没添加橄榄油时的合成代谢量增加35.88U/mL和4.93U/mL。再增加橄榄油的添加量时,红曲黄色素的合成代谢量呈下降趋势,但在本文研究范围内还是都比没添加橄榄油时的要高,这说明添加一定量的橄榄油有利于黄色素的合成代谢。

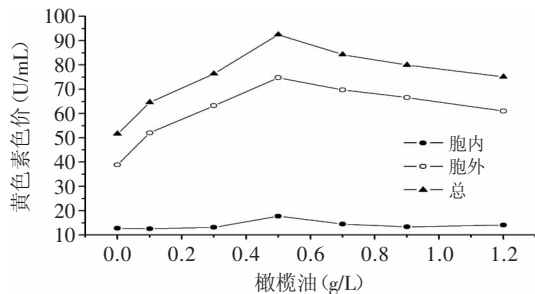


图2 橄榄油对红曲黄色素合成代谢的影响

Fig.2 Effect of olive oil on *Monascus* yellow pigments production

从表2中得知,橄榄油的添加明显能消除橘霉素的合成代谢。橄榄油的添加对细胞干重影响不是很明显,当橄榄油添加浓度为0.5g/L时,此时的细胞干重达到最大,比没添加橄榄油时的细胞干重仅高出0.95g/L。而此时的黄色素得率为4246.40U/g,比没添加橄榄油时的高出1767.21U/g。

表2 橄榄油对红曲黄色素发酵的影响

Table 2 Effect of olive oil on *Monascus* yellow pigments fermentation

橄榄油 (g/L)	橘霉素 (mg/L)	细胞干重 (g/L)	相对于细胞干重黄色素得率 (U/g)
0	0.57±0.078	20.82±1.303	2479.19
0.1	0.54±0.050	20.29±1.114	3183.37
0.3	0.48±0.038	20.47±1.473	3728.26
0.5	0.48±0.030	21.77±2.569	4246.40
0.7	0.36±0.079	20.49±1.541	4111.29
0.9	未检测出	19.31±3.280	4139.46
1.2	未检测出	19.54±2.863	3842.20

综合以上结果表明,橄榄油的添加有利于红曲黄色素的合成代谢不是因为有利于微生物的生长而在量上的积累,而可能是作为一种黄色素合成代谢的底物从而导致有利于黄色素的合成代谢,并且在一定程度上是可以消除橘霉素的合成代谢。

2.3 其它食用油对红曲霉突变菌株合成代谢黄色素和橘霉素的影响

表4 食用油对红曲霉突变菌株合成代谢橘霉素的影响

Table 4 Effect of edible oil on citrinin production by *Monascus anka* mutant

添加量 (g/L)	玉米油	芝麻油	橄榄油	花生油	茶油	蓖麻油
0	0.31±0.031	0.28±0.011	0.57±0.078	0.77±0.026	0.48±0.041	0.44±0.083
0.1	0.28±0.062	0.39±0.023	0.54±0.050	0.62±0.061	未检测出	0.41±0.088
0.3	0.28±0.036	0.48±0.047	0.48±0.038	0.60±0.055	未检测出	0.43±0.051
0.5	0.27±0.042	0.58±0.096	0.41±0.030	0.57±0.030	未检测出	0.40±0.099
0.7	0.23±0.082	0.66±0.049	0.36±0.079	0.48±0.044	未检测出	0.46±0.089
0.9	0.19±0.084	0.62±0.013	未检测出	0.44±0.024	未检测出	0.43±0.047
1.2	0.15±0.033	0.53±0.091	未检测出	未检测出	未检测出	0.39±0.029

在本文中研究了芝麻油、花生油等几种食用油对红曲霉突变菌株合成代谢黄色素和橘霉素的影响。结果表明它们虽然在提高黄色色素上调上有一定的有利影响(除了蓖麻油之外),但是对黄色素合成代谢有十分不利的影响,添加适量的食用油发酵时的黄色素色价相比于没添加食用油发酵时黄色素色价下降30%~80%之间(见表3)。

表3 食用油对红曲黄色素发酵的影响(%)

Table 3 Effect of edible oil on *Monascus* yellow pigments fermentation (%)

食用油	黄色素增减	色调增减	相对于细胞干重黄色素得率增减
玉米油	+1.71	+35.78	-8.49
芝麻油	-32.94	+24.44	-34.54
橄榄油	+92.40	+31.30	+71.28
花生油	-61.00	+13.75	-32.63
茶油	-75.66	+11.63	-53.69
蓖麻油	-58.09	-19.75	-35.00

对于黄色素得率而言,除了橄榄油之外,其它食用油明显不利于提高相对于细胞干重黄色素得率,比没添加食用油发酵时下降8%~53%(见表3)。

就橘霉素而言,蓖麻油对橘霉素的影响不明显,芝麻油能促进橘霉素的合成代谢,其它的食用油在一定程度上都能消除橘霉素的合成代谢,如茶油消除橘霉素的合成代谢的效果最明显(见表4)。

3 讨论

虽然有相关研究报道辛酸对红曲红色素合成代谢有利,且能消除橘霉素的合成代谢^[19-21],但本文作者以前的研究表明,辛酸的添加并不利于红曲黄色素的合成代谢^[22]。在本文中使用的植物油都含有多种脂肪酸,包括饱和和不饱和脂肪酸,其中不饱和脂肪酸主要包括油酸和亚油酸,只是含量不同而已,但只有橄榄油(不饱和脂肪酸含量80%左右,其中含有65.8%~84.9%的单不饱和脂肪酸(ω -3脂肪酸(主要为亚麻酸)和 ω -6脂肪酸(主要为亚油酸)),3.5%~22%左右的多不饱和脂肪酸)对黄色素的合成代谢有明显的促进作用,而不饱和脂肪酸含量同样较高的茶油(不饱和脂肪酸含量70%~80%)对黄色素的代谢合成反而出现不利的影响,这说明不饱和脂肪酸含量的高低并不能决定黄色素合成代谢量的变化。同时蓖麻油中油酸(3%~9%)和亚油酸(2.0%~3.5%)含量较低,两者对黄色素的合成代谢都有不利影响。而在本文研究中无论添加多少玉米油,红曲黄色素得率反而下降(见表3),且红曲霉突变菌株合成代谢红曲色

素和橘霉素的机理跟其它红曲霉菌种合成代谢色素和橘霉素的机理基本一样^[12-15],这与适量的玉米油能提高红曲红色素得率两倍的相关研究报道^[16]有所不同,这就进一步说明不饱和脂肪酸的种类及其含量的高低并不是决定红曲黄色素合成代谢的因素。所以从本文中的研究结果很难说明是橄榄油中的不饱和脂肪酸对红曲黄色素和橘霉素合成代谢有一定的影响,基于实验条件的有限也很难对植物油中各种脂肪酸对黄色素和橘霉素合成代谢的影响进行深度研究来证实。

不同植物油中含有不同的生物活性物质如多酚、角鲨烯、胡萝卜素等。本实验中所用橄榄油为特级初榨橄榄油(extra virgin olive oil),此油是由新鲜的油橄榄果经过纯物理压榨后,油水自然分离得到的果油,不经过任何热处理和化学处理,完全保存了油橄榄果的天然营养成分及其活性物质。而茶油也是通过物理低温压榨得到的纯茶油,很多具有抗氧化功能的生物多酚存在于油中,抗氧化物质的存在可能对于橘霉素的合成代谢有一定的消除影响,如对影响橘霉素合成关键酶的酶活起到一定的抑制作用从而消除了橘霉素的合成代谢,或抗氧化物质对橘霉素本身的稳定性存在一定的影响。

但在本文中所用芝麻油、茶油和蓖麻油也都是通过压榨制取的,虽然压榨工艺不同,但基本上都保留了植物油中的芳香物质及功能性营养成分。而本文的研究结果表明芝麻油能明显有利于橘霉素的合成代谢,而橄榄油和茶油能明显消除橘霉素的合成代谢,蓖麻油(压榨所得的1号蓖麻油)反而影响不明显(见表4)。植物油中都含有具有一定抗氧化能力的多酚类化合物,如橄榄油富含角鲨烯、茶油含单宁、玉米油和花生油含有生育酚、芝麻油含芝麻酚等,且芝麻酚的抗氧化能力较强,为什么芝麻油相比于橄榄油、茶油、玉米油和花生油而言反而能促进橘霉素的合成代谢,所以此现象很难说明是油脂中所有抗氧化功能性成分对橘霉素的合成代谢都有消除作用,抗氧化物质的种类才是影响橘霉素合成代谢的关键因素,这在一定程度上进一步说明不同制油工艺影响油脂中各成分的种类及其含量,从而对红曲黄色素和橘霉素合成代谢的影响不同。但是本文作者更偏向于另一种解释:即抗氧化物质对橘霉素的影响不是在于合成代谢上,而是对于橘霉素本身稳定性的影响。至于植物油中哪些成分有利于橘霉素的合成代谢,哪些成分有利于消除橘霉素的合成代谢,或哪些成分有利于橘霉素的稳定,哪些成分不利于橘霉素的稳定,还有待进一步验证。

参考文献

[1] 唐秋琳,赵海,王忠彦,等. 一株产黄色素红曲霉 *Monascus* HB-5 的生物学特性研究[J]. 食品科技, 2006(7):47-51.
 [2] 马美荣,方慧英,王正祥,等. 红曲霉单产黄色素突变株的选育[J]. 微生物学通报, 2001, 28(4):66-69.
 [3] Chen Yen-Lin, Hwang Ing-Er, Lin Ming-Chih, et al. *Monascus purpureus* mutant and its use in preparing yellow pigment:

America, 6635467[P]. 2003-10-21.

[4] Chul SS, Hyung JK, Moon JK, et al. Morphological change and enhanced pigment production of *Monascus* when cocultured with *Saccharomyces cerevisiae* or *Aspergillus oryzae*[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1998, 59(8):576-581.
 [5] Yongsmith B, Chairisook C, Chimanage P, et al. Papers of the symposium on *Monascus* culture and application[C]. Toulouse France, 1998, 9:115-126.
 [6] Yongsmith B, Krairak S, Bavavoda R. Production of yellow pigments in submerged culture of a mutant of *Monascus* sp[J]. J Ferment Bioeng, 1994, 78:223-228.
 [7] Yongsmith B, Kitprechavanich V, Chitradon L, et al. Color mutants of *Monascus* sp.Kb9 and their comparative glucoamylase on rice solid culture[J]. J Mol Catal B: Enzymatic, 2000, 10:263-272.
 [8] Somchai Krairak, Kouji Yamamura, Ryoichi Irie, et al. Maximizing yellow pigment production in fed-batch culture of *Monascus* sp[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2000, 90(4):363-367.
 [9] Yongsmith B, Tabloka T, Yongmanitchai W, et al. Culture conditions for yellow pigment formation by *Monascus* sp. KB10 grown in cassava medium[J]. World J Microbial Biotechnol, 1993, 9:85-90.
 [10] Hassan Hajjaj, P Blanc J. Biosynthetic pathway of citrinin in the filamentous, fungus *Monascus ruber* as revealed by ¹³C nuclear magnetic resonance[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 1:311-314.
 [11] 周波,王菊芳,吴振强,等. 高产红曲黄色素菌株的选育[J]. 微生物学通报, 2008, 35(12):1909-1914.
 [12] Bo zhou, Jufang Wang, Yuewu Pu, et al. Optimization of culture medium for yellow pigments production with *Monascus anka* mutant using response surface methodology[J]. European Food Research and Technology, 2009, 228(6):895-901.
 [13] 周波,朱明军,王菊芳,等. 铵盐对红曲黄色素、红色素及橘霉素代谢形成的影响[J]. 重庆工学院学报:自然科学版, 2009, 23(1):46-53.
 [14] 周波,杨玲,崔思颖,等. 响应面法提高红曲黄色素色调[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2008, 36(11):91-95.
 [15] 周波,浦跃武,朱明军,等. 氮源对红曲霉突变菌株产黄色素的影响[J]. 现代食品科技, 2008, 24(2):123-127.
 [16] Siu-Wai Chiu, Yam-Kau Poon. Submerged production of *Monascus* pigments[J]. Mycologia, 1993, 85(2):214-218.
 [17] Jongrungruangchok, Kittakoo SP, Yongsmith B. Azaphilone pigments from a yellow mutant of the fungus *Monascus kaoliang* [J]. J Phytochemistry, 2004, 65:2569-2575.
 [18] 周波,朱明军,吴振强,等. 金属盐对红曲霉突变菌株合成代谢黄色素影响的研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(4):342-347.
 [19] Hassan Hajjaj, Alain Klæbe, Gerard Goma, et al. Medium chain fatty acids affect citrinin production in the filamentous fungus *Monascus ruber*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2000, 66(3):1120-1125.

(下转第99页)

步的吸附实验。HPD722大孔树脂吸附等温线的测定见图7。

由图7可以看出在一定范围内大孔树脂对赭萸总黄酮的吸附量随着平衡浓度的增加而增加,表明适当增加样液浓度可以增加大孔树脂的吸附量。用不同的吸附剂吸附不同的物质时,吸附等温线可有多种形状。Brunauer等^[12]把典型的吸附等温线分为5种。图7比较符合Langmuir型,说明大孔树脂对赭萸总黄酮的吸附可推测为单分子层的物理吸附。

$$\text{Langmuir等温吸附方程为}^{[13]}: \frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_{\max}} + \frac{1}{aQ_{\max}}$$

式中: C_e 为平衡浓度(mg/mL); Q_e 为平衡吸附量(mg/g); Q_{\max} 为树脂最大吸附量(mg/g); a 为吸附作用的平衡常数。

以 $\frac{C_e}{Q_e}$ 对 C_e 作图得一直线,斜率为 $\frac{1}{Q_{\max}}$,截距为 $\frac{1}{aQ_{\max}}$ 。得到的线性方程为 $y=0.2036x+0.0052$, $R^2=0.9845$ 。Langmuir方程对HPD722树脂吸附等温线有较好的拟合效果,因此在所研究浓度范围内,HPD722树脂对赭萸总黄酮的吸附可推测为单分子层吸附,并可计算得到其最大吸附量为4.912mg/g。

2.3 HPD722型大孔吸附树脂静态吸附动力学特性测定

图8为HPD722树脂对赭萸总黄酮吸附量与时间关系,在0~3h内的吸附速率较快,3h后吸附量增加缓慢,说明吸附已基本达到平衡,该过程为快速吸附平衡过程。假设赭萸总黄酮在HPD722树脂表面的吸附为单分子层吸附,以Langmuir单分子层吸附模型对0~3h内的吸附过程进行拟合。

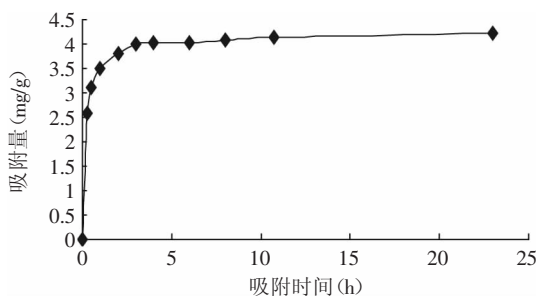


图8 HPD722大孔树脂吸附时间-吸附量关系

Fig.8 The relation between absorption capacity and time on HPD722 resin

$$\text{Langmuir平衡吸附速率方程: } -\ln\left(1 - \frac{Q_t}{Q_e}\right) = kt$$

式中: Q_t 为t时刻树脂吸附量(mg); Q_e 为树脂平衡吸附量(mg); k 为吸附速率常数; t 为吸附时间, (h)。

以 $-\ln\left(1 - \frac{Q_t}{Q_e}\right)$ 对 t 做图,拟合得到的直线为 $y=0.8359x+0.913$, $R^2=0.9887$ 。线性关系较好,进一步说明HPD722树脂对赭萸总黄酮的快速吸附平衡过程可能为单分子层吸附。

3 结论

对十种大孔吸附树脂的静态吸附和解吸性能进行比较,筛选得出HPD722型大孔吸附树脂对赭萸总黄酮具有较好的吸附和解吸性能。动力学结果表明,平衡数据能够较好的应用Langmuir等温吸附方程和Langmuir平衡吸附速率方程进行拟合。

参考文献

- [1] 罗鹏,张兆清,杨毅,等. 川西草原十字花科油料植物资源的研究和利用[J]. 自然资源学报,1993,8(3):281-285.
- [2] 张宗舟. 食用赭萸的生物学特性与加工 [J]. 特种经济动植物,2005(8):25.
- [3] 刘邦强,胡建华.同名异科3种中药的鉴别[J]. 时珍国医国药,2004,15(2):100.
- [4] 张鞍灵,刘国强,马琼,等. 黄酮类化合物生物活性与结构的关系[J]. 西北林学院学报,2001,16(2):75-79.
- [5] 鄯贵龙,纪丽莲.大孔树脂对茄尼醇吸附行为的研究[J]. 离子交换与吸附,2009,25(4):346-352.
- [6] 徐清萍,何培新,朱广存.大孔树脂分离怀菊花黄酮的研究[J]. 食品工业科技,2011,32(4):103-106.
- [7] 李娜,鲁晓翔.大孔吸附树脂分离纯化红花总黄酮的研究[J]. 食品工业科技,2011,32(4):276-279.
- [8] 吴亮亮,石雪萍,张卫明.大孔吸附树脂分离纯化花椒总黄酮的研究[J]. 食品工业科技,2011,32(7):260-266.
- [9] 汪洋,吴剑,曾凡坤.大孔树脂纯化柑橘皮渣类黄酮的工艺研究[J]. 食品工业,2011(10):34-37.
- [10] 刘力恒,王立升,冯丹丹,等. 大孔树脂对小叶榕叶的总黄酮吸附分离特性[J]. 精细化工,2009,26(3):293-298.
- [11] 龙光锦,黄晔,姜林华,等. 榕树叶中总黄酮的提取及鉴别[J]. 时珍国医国药,2006,17(8):1425-1426.
- [12] 史作清,施荣富.吸附分离树脂在医药工业中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2008:27-28.
- [13] Min Gao,Wei Huang,Chun-Zhao Liu. Separation of scutellarin from crude extracts of *Erigeron breviscapus* (vant.) Hand. Mazz. by macroporous resins [J]. Journal of Chromatography B,2007,858:22-26.

(上接第95页)

- [20] Hadfield JR, Holker SE. The biosynthesis of fungal metabolites, Part II, The β -oxo-lactone equivalents in rubropunctatin and monascorubrin[J]. J Chem Soc (C),1967:751-755.
- [21] Xu Ganrong, Chen Yun, Yu Huiling. HPLC fluorescence

- method for determination of citrinin from *Monascus cultures* [J]. Archiv fur Lebensmittelhygiene,2003(4):82-84.
- [22] 周波,吴吉林,朱明军,等. 基于代谢途径提高红曲黄色素生成及控制桔霉素产生的研究[J]. 食品科技,2011,36(2):242-247.