

# 蒜皮膳食纤维的促溶改性及抗氧化性研究

刘湾,马海乐\*,黄六容

(江苏大学食品与生物工程学院,江苏省农产品物理加工重点实验室,江苏镇江 212013)

**摘要:**目的:提高蒜皮膳食纤维的可溶性、评价其抗氧化活性。方法:以蒜皮为原料,采用酶-重量法进行蒜皮膳食纤维(TDF)提取,以及不溶性膳食纤维(IDF)和可溶性膳食纤维(SDF)的分离,对于分离得到的IDF,通过单因素和正交实验,探索纤维素酶法改性的最佳工艺条件;对于蒜皮不溶性膳食纤维,通过纤维素酶法改性提高其可溶性。结果:蒜皮中TDF含量为69.18%,其中SDF含量为7.28%、IDF为61.9%;酶法改性的最优条件为:料液比1:15g/mL、纤维素酶加酶量5%、酶解温度45℃、酶解时间4h、酶解pH6.5,此条件下蒜皮IDF的33.20%转化成为SDF;酶解后溶出的SDF溶液对羟自由基和DPPH自由基清除效果较好。结论:纤维素酶酶解可以显著改善蒜皮膳食纤维的溶解特性,改性后的蒜皮SDF具有较好抗氧化活性。

**关键词:**蒜皮,膳食纤维,提取,改性,抗氧化

## Study on the modification of dietary fiber from garlic skin and antioxidation

LIU Wan, MA Hai-le\*, HUANG Liu-rong

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Key Laboratory for Physical Processing of Agricultural Products of Jiangsu Province, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** The purpose of this article was to improve the solubility of dietary fiber in garlic skin and assess its anti-oxidant activity. The enzyme-gravimetric method was used to detect the content of dietary fiber in garlic skin for the first time. The technological conditions of enzymic modification of IDF and the capability of anti-oxidant of soluble dietary fiber in garlic skin were studied in this experiment. Results showed that TDF was of 69.18%, IDF of 61.9% and SDF of 7.28%. By single-factor experiment and orthogonal experiment, the optimal technological conditions was founded as follows: cellulase enzyme dosage 5%, enzymolysis time 4h, enzymolysis temperature 45℃, pH6.5, material-liquid ratio 1:15g/mL, and the dissolved quantity of soluble dietary fiber (SDF) was 33.20g per 100g. It had been concluded that cellulase enzyme could remarkably raise the solubility of dietary fiber from garlic skin and soluble dietary fiber of the garlic peel had a high ·OH and DPPH· radical scavenging activity.

**Key words:** garlic peel; dietary fiber; extraction; modification; anti-oxidant activity

中图分类号: TS209

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)12-0172-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.12.028

膳食纤维(Dietary fiber)作为人类认知的六大营养素之后的第七大人体必需营养素,在人体健康中起到不可替代的作用<sup>[1]</sup>。营养调查资料表明,膳食纤维能有效减少和预防心血管病<sup>[2]</sup>、糖尿病<sup>[3]</sup>、高血压<sup>[4]</sup>、肥胖症<sup>[5]</sup>、结肠癌<sup>[6]</sup>等疾病的发生。

大蒜是我国的传统调味品,我国是世界上大蒜种植面积最大,种植数量最多,消耗量最大的国家<sup>[7]</sup>。因此蒜皮的产量正在大量的增加。大蒜成分及其生理功能已经被诸多学者深入研究,但是关于蒜皮利

用的研究甚少,因此本文提出以蒜皮为原料提取膳食纤维,既丰富了膳食纤维的来源,也提高了大蒜的综合利用率。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

蒜皮 江苏大学凯源超市购买;α-淀粉酶 1000U/mg, Biosharp; 木瓜蛋白酶 6000U/mg, 国药化学制剂有限公司; 糖苷酶 10WU/mL, 上海金穗生物科技有限公司; 纤维素酶 4WU/mg, 无锡市雪酶制剂有限公司; 磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、冰乙酸、硫酸铜、硫酸钾、浓硫酸、石油醚(30~60℃沸程)、95%乙醇、丙酮、硫酸亚铁、双氧水、水杨酸 购于国药化学试剂有限公司,均为分析纯; DPPH Sigma公司。

收稿日期: 2013-08-05 \* 通讯联系人

作者简介: 刘湾(1991-),女,硕士研究生,研究方向:农产品加工。

基金项目: 江苏省苏北科技发展规划(BC2013414)。

DK-8D电热恒温水浴 上海精宏实验设备有限公司; GZX-9240 MBE电热恒温鼓风干燥箱 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; DL-5低速冷冻离心机 上海安亭科学仪器厂; PHS-25A数字酸度计 上海大普仪器有限公司; 全自动凯式定氮仪 意大利VELP公司; WFJ7200可见分光光度计 上海福马实验设备有限公司; X-10-12电子式可调万用电炉 尤尼柯(上海)仪器有限公司; FA1004电子分子天平 南通金石实验仪器有限公司。

## 1.2 实验方法

1.2.1 蒜皮主要成分测定 蛋白质含量用全自动凯式定氮仪测定; 可溶性多糖含量采用苯酚硫酸法测定<sup>[8]</sup>; 灰分含量参照GB 5009.5-2010测定; 膳食纤维的含量参照GB/T 5009.88-2008测定; 粗脂肪含量测定按GB/T 5009.6-2003中第一法测定。

1.2.2 蒜皮IDF的提取工艺 参照李雁等<sup>[9]</sup>提取IDF方法, 将蒜皮烘干至恒重, 粉碎过80目筛, 按照料液比为1:25g/mL加入pH为8.0磷酸缓冲液, 再加入2% α-淀粉酶溶液在95℃水浴锅中酶解, 酶解后冷却至60℃, 调节pH至7.0~8.0, 再加入0.5%木瓜蛋白酶在60℃水浴锅中酶解30min, 酶解完成后, 按照蒜皮与3mol/L的乙酸溶液1:5g/mL的料液比加入乙酸, 再调节pH约4.5。最后加入添加量为100mL/g的糖苷酶, 在60℃酶解液中酶解30min, 得到最终的酶解液。将酶解液在转速为5000r/min的离心机中离心分离25min去除上清, 将沉淀用95%乙醇、丙酮各洗涤一次, 洗涤后的溶液离心分离去除上清, 得到沉淀60℃烘干过夜得到IDF。

1.2.3 蒜皮膳食纤维的改性方法 以提取的IDF为原料, 准确称取1.000g, 加入一定量的磷酸缓冲液和纤维素酶溶液, 混匀, 盖上锡箔纸后, 放入一定温度下的水浴锅中水浴一定时间, 然后立即放入100℃水浴锅中灭酶15min。在5000r/min下离心分离25min, 残渣用95%乙醇、丙酮各洗涤一次, 离心分离后, 残渣在60℃烘箱中烘干过夜, 冷却至室温, 称重。

5%纤维素酶添加方法: 称取0.500g的纤维素酶粉末溶解在10mL的蒸馏水中, 再用移液枪取酶溶液1mL。

### 1.2.4 蒜皮膳食纤维改性条件的研究

1.2.4.1 单因素实验设计 按料液比为1:15、1:20、1:25、1:30、1:40加入pH为4.0、5.0、6.0、7.0、8.0磷酸缓冲液, 加入1%、3%、5%、7%、9%的纤维素酶, 盖上锡箔纸, 在30、40、50、60、70℃恒温水浴锅中水浴1、2、3、4、5h。固定料液比为1:15g/mL、pH6.0、纤维素酶加入量5%、50℃恒温水浴4h。

1.2.4.2 正交实验设计 选用L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交表探讨纤维素酶水解的最优工艺参数, 以酶解液中SDF含量为酶解效果的考察指标。因素水平表如表1所示。

1.2.5 改性后酶解液中SDF含量的测定 改性后酶解液中SDF含量按式(1)计算:

$$\text{SDF含量}(\%) = \frac{m_2 - m_1 + \frac{m_1}{\text{IDF}} \times \text{SDF}}{\frac{m_1}{\text{IDF}}} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

表1 正交实验因素水平表

Table 1 Factors and levels of experiment by orthogonal design

水平	因素			
	A 酶解温度(°C)	B 酶解时间(h)	C 加酶量(%)	D 初始(pH)
1	45	3.5	4	5.5
2	50	4.0	5	6.0
3	55	4.5	6	6.5

式中, IDF表示蒜皮中IDF的质量分数(%); SDF表示蒜皮中SDF的质量分数(%); m<sub>1</sub>表示称取的IDF质量(g); m<sub>2</sub>表示改性后IDF的质量(g)。

1.2.6 改性后SDF的抗氧化测定 将酶解后的上清液离心分离得到澄清透明的溶液作为样品溶液。取20mL样品溶液3份, 分别用在60℃水浴锅中预热20min的无水乙醇80mL, 沉淀样品溶液1h, 然后3500r/min分离样品乙醇溶液15min, 残渣用78%、95%的乙醇和丙酮分别洗涤一次, 残渣在60℃的烘箱中烘干至恒重。以得到样品溶液的浓度。

1.2.6.1 羟自由基清除率的测定 参照Fenton反应体系模型<sup>[10]</sup>采用比色法测定SDF溶液的羟自由基清除率, 取2mL样品依次加入6mmol/L的硫酸亚铁溶液0.8mL, 1mL 6mmol/L的双氧水, 补充蒸馏水至总体积为6mL, 混匀后静置10min, 再加入2mL 6mmol/L的水杨酸, 混匀静置30min, 在510nm处测其吸光度值记为A<sub>i</sub>; 取2mL样品依次加入6mmol/L的硫酸亚铁溶液0.8mL, 1mL 6mmol/L的双氧水, 补充蒸馏水至总体积为6mL, 混匀后静置10min, 再加入2mL双蒸水, 混匀静置30min, 在510nm处测其吸光度值记为A<sub>j</sub>; 空白对照组以双蒸水代替样品溶液, 其余步骤和上述一样, 吸光度值记为A<sub>0</sub>。另外以标准品V<sub>c</sub>做阳性对照实验。每次实验重复三次。羟自由基清除率计算公式见式(2):

$$\text{OH}\cdot\text{清除率}(\%) = [1 - (A_i - A_j) / A_0] \times 100 \quad \text{式(2)}$$

1.2.6.2 二苯代苦味酰基自由基(DPPH·)清除率的测定 采用分光光度计法<sup>[11]</sup>测定酶解后SDF溶液的DPPH自由基清除率。取2mL样品上清液, 加入2mL浓度为0.01mmol/L的DPPH溶液, 混合反应20min, 3500r/min离心分离10min, 取上清液在517nm处测其吸光度值, 记为A<sub>i</sub>; 取2mL样品上清液, 加入无水乙醇2mL, 混合反应20min, 3500r/min离心分离10min, 取上清液在517nm处测其吸光度值, 记为A<sub>j</sub>; 取2mL无水乙醇, 加入2mL浓度为0.01mmol/L的DPPH溶液, 取上清液在517nm处测其吸光度值, 记为A<sub>0</sub>。另外以标准品V<sub>c</sub>做阳性对照实验。每次实验重复三次。DPPH自由基清除率计算公式见式(3):

$$\text{DPPH}\cdot\text{清除率}(\%) = [1 - (A_i - A_j) / A_0] \times 100 \quad \text{式(3)}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 大蒜皮中主要成分的测定结果

由表2可知, 蒜皮中脂肪含量仅1.37%, 其含量较少, 因此对SDF提取的影响较小, 所以预处理不需要进行除脂肪操作。

### 2.2 单因素实验

表2 蒜皮中主要成分的含量  
Table 2 Content of main nutrients in garlic peel

主要成分	脂肪	蛋白质	可溶性多糖	灰分	TDF	IDF	SDF
含量(%)	1.37±0.08	5.66±0.11	5.55±0.01	7.92±0.01	69.18±0.02	61.9±0.01	7.28±0.02

2.2.1 酶解时间对SDF含量的影响 由图1可以看出,在酶解时间在0~4h时,随着酶解时间的延长,可溶性膳食纤维得率越高,在4h之后,可溶性膳食纤维得率增加的幅度变小,增加反应时间将增加生产成本,考虑到可溶性膳食纤维得率和经济效益的综合作用,认为最佳水解时间为4h。

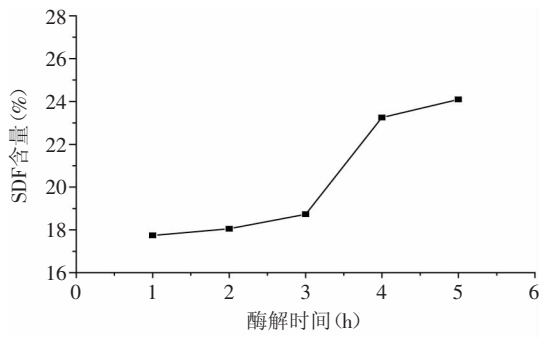


图1 酶解时间对SDF含量的影响

Fig.1 Effect of enzymolysis time on the content of SDF

2.2.2 料液比对SDF含量的影响 由图2看出,随着料液比的增加,可溶性膳食纤维得率呈下降趋势,最低料液比为1:15 (g/mL),由于蒜皮的粉末质轻,再减少料液比,粉末不能完全水合,不利于纤维素酶和原料的充分混合,所以认为1:15为最佳料液比。

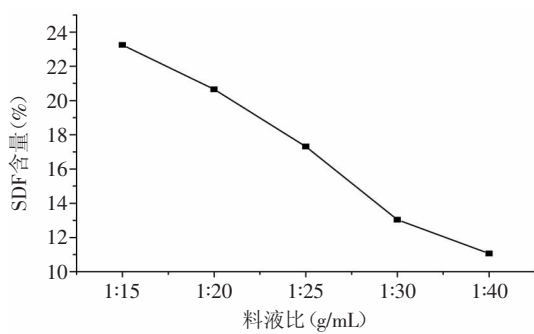


图2 料液比对SDF含量的影响

Fig.2 The effect of solid-liquid ratio on content of SDF

2.2.3 加酶量对SDF含量的影响 由图3看出,纤维素酶用量在1%~9%时,随着纤维素酶加酶量的增加,可溶性膳食纤维得率逐渐增加,当加酶量达到5%左右时,可溶性膳食纤维得率达到最大,当加酶量继续增大时,可溶性膳食纤维得率不再显著变化。依据酶作用底物原理,酶用量的增大使得单位酶作用底物减少,因此可溶性膳食纤维得率增加缓慢了。

2.2.4 酶解温度对SDF含量的影响 由图4可以看出,当温度在30~50℃范围内时,随着温度的增加,可溶性膳食纤维的得率逐渐增加,当温度在50~70℃范围内时,随着温度升高,可溶性膳食纤维得率下降。根

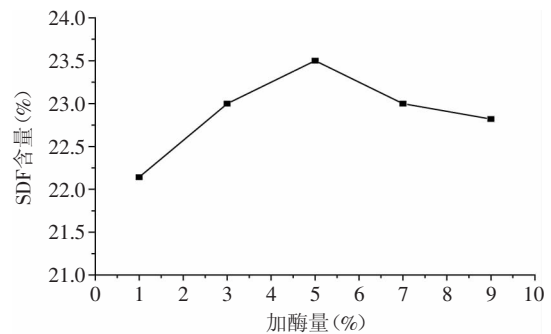


图3 纤维素酶加酶量对SDF含量的影响

Fig.3 The effect of cellulase amount on the content of SDF

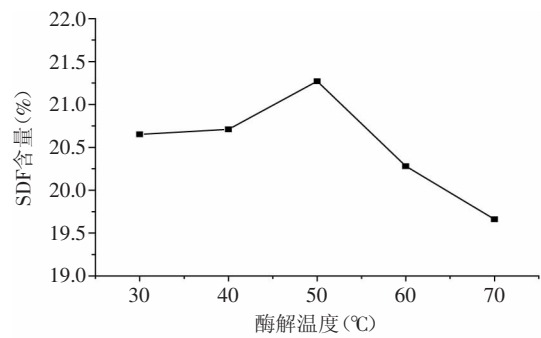


图4 酶解温度对SDF含量的影响

Fig.4 Effect of enzymolysis temperature on the content of SDF

据酶促反应动力学原理,在酶低于最适反应温度时,酶活性受到抑制,在酶高于最适温度时,随着温度的升高,酶逐步变性。因此反应速度下降,导致得率逐渐降低,所以选择温度50℃为纤维素酶酶解最适温度。

2.2.5 酶解pH对SDF含量的影响 由图5看出,在酶解pH为4.0~8.0时,可溶性膳食纤维得率先增加后减少,在pH为6.0时,可溶性膳食纤维得率最高。由于反应体系pH会对酶活力产生影响,高于或低于最适pH时,酶促反应速度逐渐下降,而且pH会影响底物分子和酶分子的解离状态,在最适pH下最有利于酶与底物的结合。故选择酶解pH为6.0。

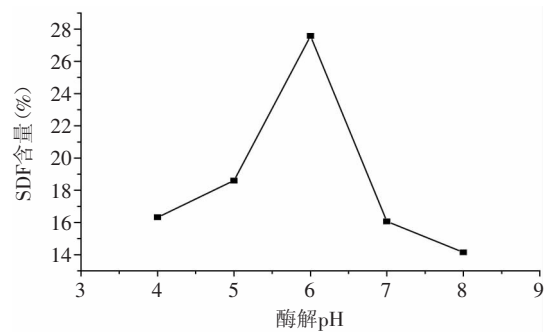


图5 初始pH对SDF含量的影响

Fig.5 Effect of the initial pH on the content of SDF

由上述单因素实验可知,料液比在1:15 (g/mL)时的酶解效果最好,而再继续减少料液比不利于蒜皮IDF粉末与缓冲溶液的水合,所以正交实验不再考虑料液比这一因素,固定料液比为1:15 (g/mL),选取其余4因子进行正交实验。

### 2.3 正交实验结果及分析

纤维素酶水解正交实验方案和结果如表3所示。由 $R_C > R_B > R_D > R_A$ 可知影响SDF含量的主次顺序为:加酶量>酶解时间>初始pH>酶解温度。纤维素酶溶出SDF的最优实验工艺组合为 $A_1B_2C_2D_3$ ,即纤维素酶酶解温度为45℃、酶解时间为4h、加酶量为5%、初始pH为6.5。验证实验表明,此时SDF含量可达33.201%。

表3 纤维素酶酶法改性蒜皮IDF实验正交表及结果

Table 3 The enzymatic modification results of insoluble fiber with orthogonal design experiments

实验号	A	B	C	D	SDF含量(%)
1	1	1	1	1	29.432
2	1	2	2	2	30.796
3	1	3	3	3	24.971
4	2	1	2	3	29.335
5	2	2	3	1	24.024
6	2	3	1	2	25.609
7	3	1	3	2	21.849
8	3	2	1	3	30.678
9	3	3	2	1	26.428
$K_1$	2.556	2.418	2.572	2.397	
$K_2$	2.369	2.565	2.597	2.348	
$K_3$	2.369	2.310	2.125	2.550	
$k_1$	0.426	0.403	0.429	0.399	
$k_2$	0.395	0.427	0.433	0.391	
$k_3$	0.394	0.385	0.354	0.425	
R	0.031	0.042	0.079	0.034	

由表4可看出加酶量对蒜皮IDF改性的影响达到显著性差异水平,而其他三个因素对SDF的溶出量影响在实验水平内没有显著性影响。

### 2.4 改性后SDF的抗氧化结果

2.4.1 可溶性膳食纤维的羟自由基(OH·)清除率  
 $H_2O_2$ 与 $Fe^{2+}$ 混合反应产生羟自由基,但由于羟自由基具有很高的反应活性,存活时间短,加入水杨酸后,能有效地捕捉羟自由基,产生颜色反应,加入具有清除羟自由基的物质后,与水杨酸竞争羟自由基,使有

表5 SDF及抗坏血酸浓度为0.02mg/mL时的羟自由基(OH·)清除率

Table 5 The hydroxyl radical scavenging activity of SDF and  $V_C$  with concentration of 0.02mg/mL

浓度(mg/mL)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	$V_C$
OH·清除率(%)	26.14±0.01	38.72±0.01	43.48±0.01	48.70±0.00	59.30±0.01	63.68±0.02

表6 SDF及维生素浓度为0.5g/mL时的DPPH·清除率

Table 6 The DPPH· scavenging activity of SDF and  $V_C$  with concentration of 0.5mg/mL

浓度(mg/mL)	0.5	1	1.5	2	2.5	$V_C$
DPPH清除率(%)	36.72±0.09	46.91±0.14	64.81±0.02	69.24±0.00	77.98±0.00	95.65±0.01

(下转第179页)

表4 正交实验方差分析表  
 Table 4 The analysis of variance for orthogonal design experiments

方差来源	平方和S	自由度f	均方和	F值	显著性
A	0.006769	2	0.003385	1.641935	
B	0.009478	2	0.004739	2.298909	
C	0.040792	2	0.020396	9.894383	**
D	0.006435	2	0.003218	1.560941	
误差	0.037105	18	0.002061		

注:\*\*表示差异达显著水平; $F_{0.05}(2, 18)=3.55, F_{0.01}(2, 18)=6.01$ 。

色物质生成量减少。由表5可以看出在可溶性膳食纤维质量浓度范围为0.02~0.10mg/mL内,羟自由基清除率随着浓度的增加,清除率有上升的趋势, $V_C$ 在浓度为0.02mg/mL时的羟自由基清除率达到了63.68%,蒜皮SDF对羟自由基清除效果较强,但是没有 $V_C$ 的清除效果明显。

2.4.2 可溶性膳食纤维的DPPH·清除率 DPPH·在95%乙醇溶液中是一种稳定的自由基,在517nm处有吸收峰,呈紫色。当自由基清除剂存在时,DPPH的孤电子被配对,颜色变浅,在最大吸收波长处吸光度变小,且颜色变化与配对电子数成化学计量关系,因此,可用来评价自由基的清除情况。从表6可以看出在样品浓度范围为0.5~2.5mg/mL时,样品清除DPPH自由基的能力随着质量浓度的增加而增加,在浓度为2.5mg/mL时达到了77.98%。当 $V_C$ 浓度为0.5mg/mL时, $V_C$ 对DPPH自由基的清除率达到了95.65%。酶解后SDF溶液的DPPH不如 $V_C$ 。

### 3 结论

经实验,蒜皮中含IDF 61.9%、SDF 7.28%。蒜皮IDF采用纤维素酶酶解反应改性的最佳工艺条件为:料液比1:15g/mL、纤维素酶加酶量5%、酶解温度45℃、酶解时间4h、酶解pH6.5,此时蒜皮IDF的33.20%转化成为SDF。改性后蒜皮SDF具有较好的抗氧化活性,表现对羟自由基和DPPH自由基的良好清除作用。

实验中采用了纤维素酶对蒜皮IDF促溶改性,在未来的实验中还可以结合超声波的辅助提取作用进一步提高其溶解性,并将蒜皮SDF经过加工运用到食品工业中。

### 参考文献

[1] 孙川,刘春霖. 膳食纤维:第七大营养素[J]. 中国民航报, 2005(1):19.

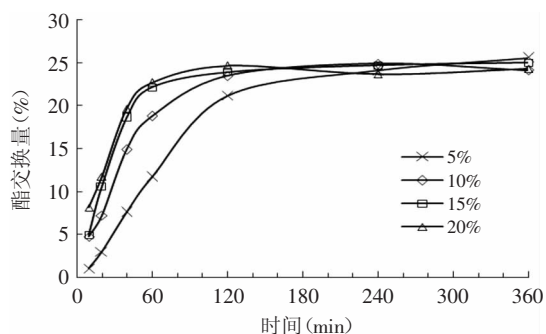


图5 加酶量对Span60-PPLipase催化酯交换反应的影响  
Fig.5 Effect of enzyme load on interesterification catalyzed by Span60-PPLipase

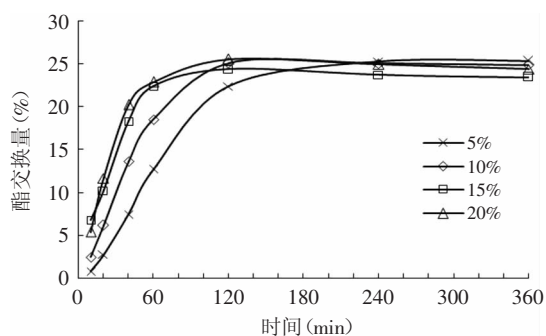


图6 加酶量对S970-PPLipase催化酯交换反应的影响  
Fig.6 Effect of enzyme load on interesterification catalyzed by S970-PPLipase

只能影响酯交换的反应速率,即平衡时的酯交换量基本相同。

### 3 结论

非离子表面活性剂Span60、Tween40、S970在水溶液中修饰猪胰脂酶能达到其在醇溶液中的修饰效果,即能提高猪胰脂酶催化酯交换反应的催化活性,虽然不同表面活性剂的修饰效果有所不同,但差别不明显。

### 参考文献

[1] 郭静,张根旺. 脂肪酶的结构特征和化学修饰[J]. 中国油脂,

2003,28(7):5-10.

[2] Luddy FE, Barford RA, Herb SF, *et al.* Pancreatic lipase hydrolysis of triglycerides by a semimicro technique[J]. J Am Oil Chem Soc, 1964,41(10):693-696.

[3] 曾哲灵,高道龙,龙俊敏,等. 胰脂肪酶催化樟树籽仁油和甘油合成中碳链单甘油酯[J]. 中国油脂,2012,37(1):23-28.

[4] Mogi KI, Nakajima M, Mukataka S. Surfactant modification of lipases for lipid interesterification and hydrolysis reactions[J]. J Am Oil Chem Soc, 1999,76(11):1259-1264.

[5] Goto M, Kamiya N, Miyata M, *et al.* Enzymatic esterification by surfactant-coated lipase in organic media[J]. Biotechnol Prog, 1994,10(3):263-268.

[6] Matsushima A, Kodera Y, Takahashi K, *et al.* Ester-exchange reaction between triglycerides with polyethylene glycol-modified Lipase[J]. Biological Chem, 1986,8(2):73-78.

[7] Basheer S, Nakajima M, Cogan U. Sugar ester-modified Lipase for the esterification of fatty acids and long-chain alcohols [J]. J Am Oil Chem Soc, 1996,73(11):1475-1479.

[8] Kaimal TNB, Saroja M. Enhancement of catalytic activity of porcine pancreatic Lipase by reductive alkylation[J]. Biotechnol, 1989,11(1):31-36.

[9] 张中义,吴新侠,孟令艳,等. 超高压下猪胰脂肪酶催化橄榄油水解特性的研究[J]. 食品科技,2009,34(1):10-13.

[10] 张洁,杨国龙,毕艳兰,等. 乙醇溶液中Tweens对猪胰脂酶的修饰作用[J]. 食品与发酵工业,2012,38(4):44-47.

[11] Kamiya N, Goto M, Nakashio F. Surfactant-coated Lipase suitable for the enzymatic resolution of menthol as a biocatalyst in organic media[J]. Biotechnol, 1995,11(3):270-275.

[12] 孙江彦,杨国龙,毕艳兰,等. 醇溶液体系中蔗糖酯修饰猪胰脂酶的研究[J]. 河南工业大学学报,2013,34(2):4-7.

[13] 曾俊,杨国龙,毕艳兰,等. 无溶剂体系中Span修饰的猪胰脂酶催化茶油与亚油酸酯交换[J]. 河南工业大学学报,2011,32(1):10-13.

[14] 杨国龙,王梦华,王业涛,等. 影响猪胰脂肪酶催化油茶籽油与亚油酸甲酯酯交换过程中酯交换量和酰基位移因素的研究[J]. 中国油脂,2010,35(10):38-41.

(上接第175页)

[2] Lairon D, Arnault N, Bertrais S, *et al.* Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2005, 82(6):1185-1194.

[3] Montonen J, Knekt P, Jarvinen R, *et al.* Whole-grain and fiber intake and the incidence of type 2 diabetes[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2003, 77(3):622-629.

[4] Whelton S P, Hyre A D, Pedersen B, *et al.* Effect of dietary fiber intake on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled clinical trials[J]. Journal of Hypertension, 2005, 23(3):475-481.

[5] 刘芳丽. 膳食纤维减脂功效的机理探讨[J]. 食品研究与开发, 2007(4):156-159.

[6] 杨杨,陶陶,姬诺. 膳食纤维在结肠癌防治中的作用[J]. 医学综述, 2010(10):1494-1496.

[7] 梅萍. 中国大蒜出口贸易的发展存在的问题及对策[A]. 哈尔滨工业大学管理学院、黑龙江省东北亚经济技术研究会. 建设东北亚和谐国际经贸关系学术研讨会论文集[C]. 哈尔滨工业大学管理学院、黑龙江省东北亚经济技术研究会:2008:4.

[8] 李雁,熊明洲,尹丛林,等. 红薯渣不溶性膳食纤维超高压改性[J]. 农业工程学报,2012(19):270-278.

[9] Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, *et al.* Colorimetric method for determination of sugars and related substances[J]. Analyse Chemistry, 1956(28):350.

[10] 贾之慎, 郭建敏, 唐孟成. 比色法测定Fenton反应产生的羟自由基[J]. 生物化学与生物物理进展, 1996(2):184-186.

[11] 彭长连, 陈少薇, 林植芳, 等. 用清除有机自由基DPPH法评价植物抗氧化能力[J]. 生物化学与生物物理进展, 2000, 27(6):658-661.