

## 微波强化碱润涨预处理对豆渣膳食纤维结构及其酯化反应的影响

杨婧<sup>1</sup>, 郑为完<sup>1</sup>, 高媛媛<sup>2</sup>

(1. 南昌大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江西 南昌 330047; 2. 江西维尔宝食品生物有限公司, 江西 高安 330800)

**摘要:**研究了碱润涨预处理和微波强化碱润涨预处理对豆渣膳食纤维化学结构, 物理特性以及对豆渣纤维素酯化反应的影响。结果表明, 与碱润涨预处理相比, 微波强化碱润涨预处理对豆渣膳食纤维的活化效果更好, 二者均没有改变豆渣纤维素的化学组分。在相同的反应条件下, 没有经过预处理、碱预处理和微波强化碱润涨预处理豆渣纤维素酯的取代度分别为 0.0445、0.0558 和 0.0681, 即经过预处理后豆渣纤维素的反应可及度增大, 酯化效率由 57.57% 提高到了 88.10%, 且随微波辐照时间的延长, 豆渣纤维素酯的取代度增加。经过酯化改性后, 豆渣纤维素酯具有较强的油污去除力, 且随着酯化取代度的增加, 去污力呈增加的趋势, 可以应用在洗涤用品中。

**关键词:**豆渣膳食纤维; 碱润涨预处理; 微波强化; 保水值; 酯化反应; 去污力

中图分类号: TS214.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2012)04-0635-05

## Influence of Microwave-assisted Alkali Pretreatment on Structure and Esterification Performance of Soybean Dietary Fiber

YANG Jing<sup>1</sup>, ZHENG Wei-wan<sup>1</sup>, GAO Yuan-yuan<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, Jiangxi; 2. Jiangxi Weierbao Food Biology Co. Ltd, Gaoan 330800, Jiangxi, China)

**Abstract:** Alkali treatment and microwave-assisted alkali treatment were applied to pretreatment of soybean dietary fiber to improve its reactivity. The changes of chemical composition and physical characteristics of soybean dietary fiber after activation were studied. The effect of different pretreatments on the esterification of soybean dietary fiber was discussed. The result showed that activation effect on soybean dietary fiber after microwave-assisted alkali treatment was better than alkali treatment. The chemical composition of soybean dietary fiber was not changed, however, hydrogen bonds among soybean dietary fiber molecules were partially destroyed and the surface was damaged. These changes resulted in the increase of accessibility, specific surface area and reactivity of soybean dietary fiber. Under the similar esterification condition, degree of substitution of soybean dietary fiber ester without pretreatment was 0.0445, while those with alkali treatment and microwave-assisted alkali treatment were 0.0558 and 0.0681 respectively. The esterification efficiency was improved from 57.57% to 88.10% indicating the accessibility of soybean dietary fiber with pretreatment was increased. After the esterification modification, soybean cellulose esters have strong oil removal ability, which can be used in washing products. The oil removal ability of the soybean dietary fiber esters increased with the increase of esterification substitution degree.

**Key words:** Soybean dietary fiber; Alkali treatment; Microwave-assisted alkali treatment; Esterification; Oil removal ability

我国是世界大豆四大主产国之一, 又是最大的大豆消费国和进口国, 在大豆的加工处理中会产生大量的副产物—豆渣, 豆渣由于含水量高, 口感差等缺陷, 除部分用作饲料外, 大部分未得到充分的利用, 豆渣中纤维含量为 60% ~ 70%, 是一种理想的膳食纤维来源<sup>[1]</sup>。对豆渣纤维进行改性处理, 不仅可以提高豆渣的附加值, 充分利用资源, 同时也解决了豆渣可能造成的环境污染问题。

豆渣纤维中含有大量的醇羟基, 因此具有羟基的各种反应活性, 如成酯反应, 成醚反应等, 但由于纤维素中的羟基大部分被包裹在结晶区内, 难于被反应试剂所触及, 从而导致纤维素在改性反应中的

不均一性, 并直接影响纤维素改性产物的性能<sup>[2]</sup>。因此在纤维素的改性反应前要对纤维素进行一定的预处理, 提高纤维素的反应均一性和反应能力, 制备出高品质的纤维素改性产品。碱润涨预处理是纤维素传统的预处理方法之一<sup>[3]</sup>, 为改善润涨效果, 将微波技术与碱润涨技术结合起来, 研究不同的预处理对豆渣纤维素化学结构和物理特性的影响。本文以预处理过的豆渣纤维素和辛烯基琥珀酸酐为原料, 采用湿法工艺制备辛烯基琥珀酸豆渣纤维素酯, 以取代度为衡量标准, 研究预处理工艺对豆渣纤维素酯化反应的影响。

收稿日期: 2012-04-27

第一作者简介: 杨婧 (1987-), 女, 在读硕士, 研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: yj198734@163.com。

通讯作者: 郑为完 (1946-), 男, 教授, 研究方向为食品新资源开发方面的研究。E-mail: zheng3008@126.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

豆渣膳食纤维(过80目筛),自制;辛烯基琥珀酸酐,杭州中香科技有限公司;其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

METTLER TOLEDO 320-S pH计,上海精密科学仪器有限公司;TENSOR27型傅里叶变换红外光谱仪,德国布鲁克公司;FEI QUANTA200F环境扫描电子显微镜,美国FEI公司;松下烧烤微波炉NN-K367WFS;GKC可控硅恒温水浴锅,上海锦屏仪器仪表有限公司;DHG-9070A型电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司。

### 1.3 方法

**1.3.1 豆渣膳食纤维的碱润胀预处理工艺** 称取一定量的膳食纤维置于质量分数为4%的NaOH溶液中,料液比为1:10,常温搅拌浸润1.5 h,离心弃去上清液,残渣经清水洗涤,离心,挤干备用,编号ADF。

**1.3.2 豆渣膳食纤维的微波强化碱润胀预处理工艺** 称取一定量的膳食纤维置于质量分数为4%的NaOH溶液中,料液比为1:10,常温搅拌浸润1.5 h,放入微波炉中辐照,分别辐照1、2、3、4、5 min,离心弃去上清液,残渣清水洗涤,挤干备用,分别编号为WADF<sub>1</sub>、WADF<sub>2</sub>、WADF<sub>3</sub>、WADF<sub>4</sub>和WADF<sub>5</sub>,考察对豆渣膳食纤维反应可及度的影响。

**1.3.3 预处理豆渣膳食纤维的分析** 保水值(WRV)的测定:采用离心法测定豆渣膳食纤维的保水值。称取离心后的经预处理的豆渣膳食纤维(离心条件为4 800 r·min<sup>-1</sup>的转速,10 min),将残渣放入质量恒定过的称量瓶M<sub>0</sub>(g)中称量得M(g),一起放入烘箱中,105℃恒温6 h,冷却后称量得M<sub>1</sub>(g),豆渣膳食纤维的保水值WRV按公式进行计算:

$$WRV = (M - M_1) / (M_1 - M_0) \times 100\%$$

**红外光谱(FT-IR)分析:**采用傅里叶变换红外光谱(FT-IR)仪分别记录干燥的豆渣膳食纤维DF,碱润胀处理的豆渣膳食纤维ADF,微波强化碱润胀预处理的豆渣膳食纤维WADF的KBr压片的吸收峰。红外光谱仪的波长宽度设定为400~4 000 cm<sup>-1</sup>,扫描次数为32次。

**扫描电镜(SEM)分析:**将样品固定在样品台上,吹去多余的粉末,用扫描电镜观察样品微结构。

**1.3.4 辛烯基琥珀酸豆渣膳食纤维酯的制备** 称取一定质量的豆渣膳食纤维,经过微波强化碱润胀

预处理后,调节悬浮液的pH为7.5~8.0,缓慢加入经乙醇稀释5倍的辛烯基琥珀酸酐,控制在0.5~1 h内加完,反应过程中用3% NaOH溶液维持体系pH为7.5~8.0<sup>[4-5]</sup>。待反应结束后,用HCl溶液调节体系pH至6.5~7.0,用乙醇洗涤,置60℃~70℃烘箱内干燥,烘干粉碎即得辛烯基琥珀酸豆渣膳食纤维素酯。

**1.3.5 辛烯基琥珀酸豆渣膳食纤维酯的结构表征** 采用傅里叶变换红外光谱(FT-IR)仪分别记录干燥的豆渣膳食纤维素和辛烯基琥珀酸豆渣膳食纤维素酯的KBr压片的吸收峰。红外光谱仪的波长宽度设定为400~4 000 cm<sup>-1</sup>,扫描次数为32次。

**1.3.6 辛烯基琥珀酸豆渣膳食纤维酯去污力的测定** 将辛烯基琥珀酸豆渣膳食纤维素酯配成质量分数为1%的悬浮液,30℃水浴恒温30 min,用刷子手工洗涤均匀附着标准人工污垢(牛油:猪油:植物油=0.5:0.5:1)的载玻片,测定油污的去除百分率。4个载玻片为一组污片,每组待测试样准备3组污片,取平均值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 预处理对豆渣膳食纤维反应可及度的影响

影响豆渣纤维素的改性反应主要取决于2个因素:纤维素葡萄糖基环上游离羟基的反应活性和反应物到达纤维素分子上羟基的可及度。纤维素的保水值依赖于纤维素材料的聚集态结构、微孔大小及其分布,可以间接反映试剂对其内部的可及程度<sup>[2]</sup>。考察碱润胀预处理和微波强化碱润胀预处理对豆渣纤维保水值的影响,实验结果见图1。

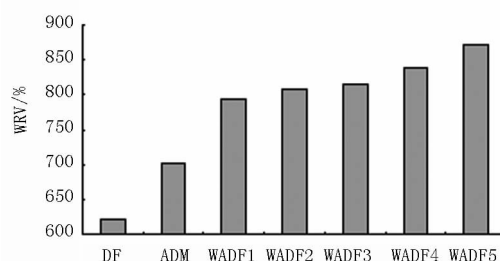


图1 预处理对豆渣膳食纤维WRV的影响

Fig. 1 Effect of different pretreatment on WRV of soybean dietary fiber

由图1可以看出微波强化碱润胀处理前后,随着微波辐照时间的延长,豆渣膳食纤维的WRV不断增大,最大值为871.89%,比原豆渣膳食纤维620.85%提高了40%以上,比微波强化前提高24.5%。这主要是因为NaOH通过与纤维素发生化学作用使纤维素结晶区的链片被劈裂,呈部分的无

定形状态<sup>[6]</sup>,从而变得疏松。在微波辐射场中 NaOH 在溶液中电离出的  $\text{Na}^+$  和  $\text{OH}^-$ ,受到高频交变电流的作用开始急速运动,一方面由于内部碰撞产生热量,另一方面高速碰撞纤维素,使纤维素的非晶区和晶区中有缺陷的部分分开,分子间的氢键作用减弱,甚至断裂,更加有利于 NaOH 渗透到纤维晶区,使得纤维晶区结构破坏变得蓬松,WRV 增大,对试剂的反应可及度增加。另外,纤维素本身包含许多空隙,空隙大小一般为 1~10 nm,最大能达到 100 nm,微波辐照对纤维素加热时,分子内微气泡迅速膨胀并向表面溢出,产生蒸汽爆破的效果<sup>[7-8]</sup>,无定形区和部分结晶区被破坏,有利于碱渗透破坏晶区结构,有利于分子链“通道”的扩大和反应试剂向纤维素分子链内部扩散,从而提高纤维素的反应性及其反应均匀性。

## 2.2 预处理豆渣膳食纤维的红外光谱分析

选择自制的豆渣膳食纤维(DF),碱润涨处理的豆渣膳食纤维(ADF),微波强化碱润涨处理的豆渣膳食纤维(WADF)为研究对象,采用傅里叶变换红外光谱仪记录其 KBr 压片的吸收峰。由图 2 可以看出,碱润涨处理豆渣膳食纤维,微波强化碱润

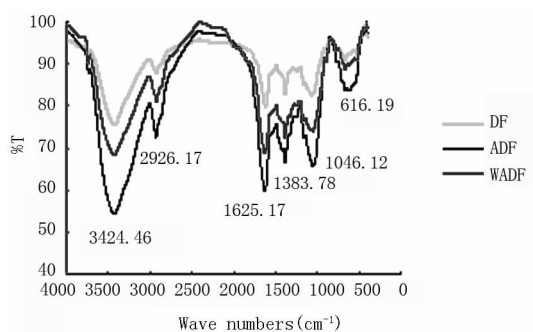


图2 豆渣膳食纤维的 FT-IR 图

Fig.2 FT-IR of soybean dietary fiber

涨预处理豆渣膳食纤维的红外光谱图中其特征峰的位置基本没有变化,说明预处理对豆渣纤维的化学组成没有改变:在波数为  $3\,425\text{ cm}^{-1}$  的特征吸收峰-OH 的伸缩振引起的,由于分子间氢键和分子内氢键多分子缔合,因此吸收峰呈一个宽的吸收带; $2\,926\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收峰是甲基- $\text{CH}_3$  和亚甲基- $\text{CH}_2$ -的伸缩振动引起的; $1\,383\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰是甲基- $\text{CH}_3$  的弯曲振动  $\delta_s$  引起的; $1\,040 \sim 1\,060\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰是由纤维素中 C-O 键的伸缩振动和 O-H 键的弯曲振动引起的<sup>[9]</sup>。这是因为低质量分数碱( $\leq 12\%$ )浸渍和较短时间处理不会使纤维素的化学结构发生变化<sup>[10]</sup>。此外从图 2 可以看出,微波强化碱润涨预处理的豆渣在  $3\,640\text{ cm}^{-1}$  的特征峰强度增加,这是游离-OH 的特征峰<sup>[9]</sup>,说明微波强化碱润涨预处理使豆渣纤维素中的游离羟基比例增大。

## 2.3 预处理豆渣膳食纤维的扫描电镜观察

选择豆渣膳食纤维(DF),碱润涨处理的豆渣膳食纤维(ADF),微波强化碱润涨处理的豆渣膳食纤维(WADF)为研究对象,使用环境扫描电子显微镜对豆渣膳食纤维的微结构进行观察。

由图 3 可以看出,在放大 1 500 倍条件下,没有经过预处理的豆渣膳食纤维表面较光滑,经过碱润涨处理和微波强化碱润涨预处理后豆渣膳食纤维表面发生了明显的变化:纤维表面变的疏松多孔,表面积增大,增大了反应试剂接触纤维素有效活性基团的概率,有利于增加纤维素对试剂的可及度。微波强化处理使得纤维结晶结构部分受到破坏,呈部分的无定形状态,表面及内部的微孔增多增大,结构更加疏松,更有利于纤维素对反应试剂的可及度。

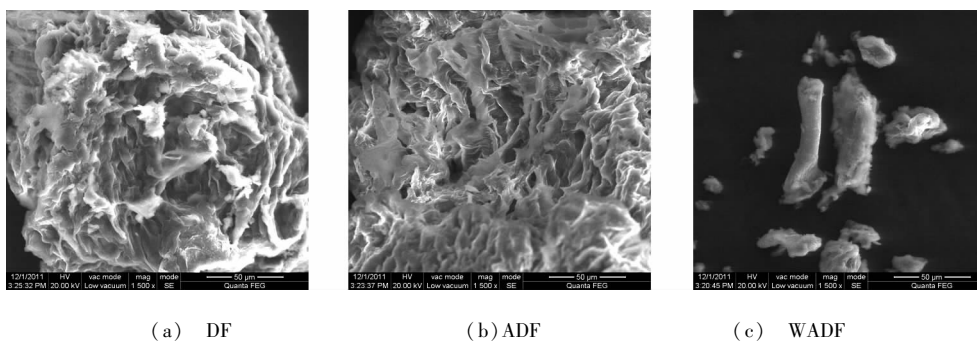


图3 豆渣膳食纤维的扫描电镜图

Fig.3 The SEM of the surface structure of soybean dietary fiber

## 2.4 预处理对豆渣纤维素酯化反应的影响

以豆渣膳食纤维为原料,加入 10% 的辛烯基琥

珀酸酐,pH 7.5,在  $60^\circ\text{C}$  反应 1 h,考察不同预处理方式对豆渣纤维素酯取代度的影响,结果见表 1。

表 1 预处理对豆渣纤维素酯化反应的影响

Table 1 Effect of different pretreatment on DS of soybean dietary fiber esters

	DF	ADF	WADF <sub>1</sub>	WADF <sub>2</sub>	WADF <sub>3</sub>	WADF <sub>4</sub>
取代度 DS	0.0445	0.0558	0.0639	0.0645	0.0657	0.0681
酯化效率 Efficiency of esterification/%	57.57	72.19	82.66	83.44	84.99	88.10

在豆渣纤维素中添加 10% 的辛烯基琥珀酸酐, 其辛烯基琥珀酸酐的理论最大取代度为 0.0773, 酯化效率为豆渣纤维素酯实际取代度与理论最大取代度的比值。由表 1 可以看出, 豆渣纤维经过预处理后, 反应活性增强, 在相同的反应条件下豆渣纤维素酯的取代度增大, 酯化效率提高, 微波强化碱润涨预处理对豆渣纤维素酯的影响更明显, 且随微波强化预处理时间的延长, 产物取代度呈增加的趋势。这与不同的预处理方式对豆渣纤维素保水值的影响结果相一致。这是因为碱润涨预处理使豆渣纤维的部分结晶区被破坏, 呈无定形状态; 而微波强化碱润涨预处理使这种结晶区的破坏程度加大, 同时微波辐照有类似“蒸汽爆破”的效果, 使纤维素本身的空隙加大加粗, 提高了辛烯基琥珀酸酐抵达豆渣纤维素活性基团的可及度, 从而更加有利于酯化反应的进行。

## 2.5 辛烯基琥珀酸豆渣膳食纤维酯的结构表征

以豆渣膳食纤维和辛烯基琥珀酸豆渣膳食纤维酯为研究对象, 采用傅里叶变换红外光谱仪记录其 KBr 压片的吸收峰, 结果见图 4。

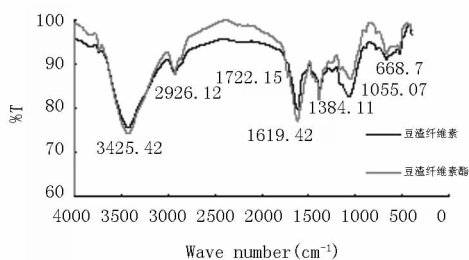


图 4 豆渣膳食纤维和  
豆渣膳食纤维酯的 FT-IR 图

Fig. 4 FT-IR of soybean dietary fiber and  
soybean dietary fiber ester

由图 4 可知, 与豆渣膳食纤维的光谱图比较, 豆渣膳食纤维酯的光谱图中, 在  $1726\text{ cm}^{-1}$  出现了一个新的特征峰, 这是由酯类物质的  $\text{C}=\text{O}$  伸缩振动产生的, 证明检测到了酯羰基的存在, 表明辛烯基琥珀酸酐与豆渣纤维素发生了酯化反应, 并以酯键的形式与豆渣纤维素上的羟基相连<sup>[11-12]</sup>, 但由于产品的取代度较低, 所以该吸收峰为微弱峰。此外在豆渣膳食纤维酯的红外光谱中  $1850\sim 1800\text{ cm}^{-1}$  和  $1780\sim 1740\text{ cm}^{-1}$  区间并未出现较强的吸

收峰, 说明豆渣膳食纤维酯中没有游离的未反应的辛烯基琥珀酸酐, 因为酸酐分子中两个  $\text{C}=\text{O}$  振动耦合, 在较高波数区出现两个相距  $60\text{ cm}^{-1}$  的吸收峰, 两峰部分重叠, 吸收带宽而强, 是鉴别酸酐的一个重要依据<sup>[9]</sup>。除了在  $1726\text{ cm}^{-1}$  外, 豆渣纤维素酯与豆渣纤维素的红外吸收光谱基本相同, 这说明除了引进辛烯基琥珀酸基团外, 酯化改性处理未引入其他物质。

## 2.6 辛烯基琥珀酸豆渣膳食纤维酯的去污力测定

纤维素分子中含有大量的亲水羟基, 经过酯化改性后, 在纤维素分子中引入了一个疏水的辛烯基琥珀酸基团, 因此辛烯基琥珀酸豆渣纤维素酯具有一定的表面活性。以豆渣纤维素和不同取代度的辛烯基琥珀酸豆渣纤维素酯研究对象, 对其去污力进行测定, 结果见图 5。

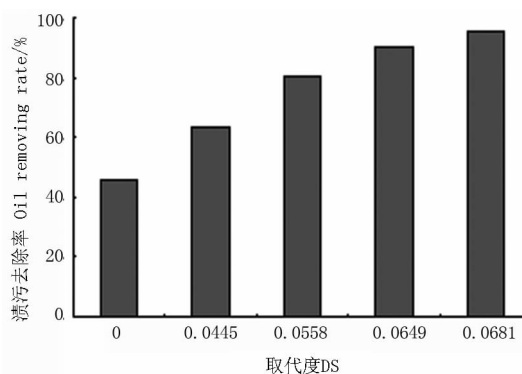


图 5 辛烯基琥珀酸豆渣膳食纤维酯的去污力结果

Fig. 5 Cleaning efficacy of soybean fiber esters

由图 5 可以看出, 豆渣纤维素经过酯化改性后去污力明显增强, 且随着酯化取代度的增加, 去污力呈增加的趋势。这主要是因为豆渣纤维本身疏松多孔, 具有一定的吸附能力, 纤维颗粒吸水膨胀, 与油分子之间相互摩擦, 从而把油带走, 但对油污的去污力相对较低; 经过酯化改性, 在豆渣膳食纤维分子中引入了一个  $12\text{C}$  的辛烯基琥珀酸疏水基团, 并部分以辛烯基琥珀酸钠盐的形式存在, 而纤维素分子中又存在大量的亲水羟基基团, 因此辛烯基琥珀酸豆渣纤维素酯具有一定的乳化能力, 在洗涤过程中可以把油乳化、分散、带走, 表现出较高的去污能力; 且豆渣纤维素的酯化取代度增大, 其乳化性增强, 从而去污力增强。

### 3 结 论

与碱润胀预处理相比,微波强化碱润胀预处理对豆渣膳食纤维的活化效果更好,二者没有改变豆渣纤维素的化学组分,但纤维素表面和内部受到一定的损伤,变得疏松多孔,保水值增大,反应可及度增大,豆渣纤维素酯的取代度增加,酯化效率提高,达到了理论取代值的 88.10%。

豆渣纤维素经过酯化改性制备的辛烯基琥珀酸豆渣纤维素酯具有较强的去污力,可以将其作为主要的活性物质和填充物质应用在洗涤用品中。该产品由于原料豆渣成本低廉,对人体和环境都较为友好,不仅提高了豆渣的附加利用值,同时解决了豆渣废弃物造成的资源浪费和环境污染,具有深远的社会价值和广阔的市场前景。

### 参考文献

- [1] Tharanathan R N, Mahadevamma S. Grain legumes-a boon to human nutrition[J]. Trends in Food and Science Technology, 2003, 14(2): 507-518.
- [2] 张春红, 陈秋玲, 孙可伟. 微波强化碱预处理对二次纤维结构及其氰乙基化反应的影响[J]. 林产化学与工业, 2010, 30(1): 97-102. (Zhang C H, Chen Q L, Sun K W. Influence of microwave-assisted alkali pretreatment on structure and cyanoethylation performance of secondary fiber[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2010, 30(1): 97-102.)
- [3] 唐爱民, 梁文芷. 超声波预处理对速生材木浆纤维结构的影响[J]. 声学技术, 2000, 19(2): 78-82, 85. (Tang A M, Liang W Z. Studies on the structure changes of fast-growing wood fiber treated by ultrasonic wave[J]. Technical Acoustics, 2000, 19(2): 78-82, 85.)
- [4] 宋晓燕. 早籼米辛烯基琥珀酸淀粉酯的制备及其理化性质的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007. (Song X Y. Preparation and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified early indica rice starches [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.)
- [5] 周小娟, 郑为完, 杨静, 等. 辛烯基琥珀酸蔗糖酯的制备、鉴定及其在微胶囊中的应用[J]. 食品科学, 2009, 30(16): 146-148. (Zhou X J, Zheng W W, Yang J, et al. Preparation, characterization and its application in micro-capsules of octenyl succinic acid sucrose esters[J]. Food Science, 2009, 30(16): 146-148.)
- [6] Warwicker J O, Wricht A C. Fuction of sheets of cellulose chains in swelling reactions on cellulose[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1967(11): 659-671.
- [7] 王喜明, 薛振华, 石丽慧, 等. 微波改性木材的初步研究[J]. 木材工业, 2002, 16(6): 16-19. (Wang X M, Xue Z H, Shi L H, et al. Preliminary study on microwave modified wood [J]. China Wood Industry, 2002, 16(6): 16-19.)
- [8] 江涛, 周志芳, 王清文. 高强度微波辐射对落叶松木材渗透性的影响[J]. 林业科学, 2006, 42(11): 87-92. (Jiang T, Zhou Z F, Wang Q W. Effects of intensive microwave irradiation on the permeability of larch wood [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(11): 87-92.)
- [9] 于世林, 李寅蔚. 波谱分析法[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1994: 44-50. (Yu S L, Li Y W. Spectrum analysis [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1994: 44-50.)
- [10] 刘贵生, 张志明, 钱学仁, 等. 纤维素与碱作用动力学研究[J]. 东北林业大学学报, 1997, 4(2): 13-18. (Liu G S, Zhang Z M, Qian X R, et al. Study on kinetics of cellulose and alkali[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1997, 4(2): 13-18.)
- [11] Fang J M, Fowler P, Assayers C, et al. The chemical modification of a range of starches under aqueous reaction conditions[J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 55(3): 283-289.
- [12] 王红亮, 冯光柱, 李和平, 等. 长链脂肪酸淀粉酯合成及应用研究进展[J]. 化学进展, 2005, 25(7): 760-761. (Wang H L, Feng G Z, Li H P, et al. Research progress of synthesis technology and application of long-chain fatty acid esters of starch[J]. Progress in Chemistry, 2005, 25(7): 760-761.)

(上接第 634 页)

- [5] 江洪, 魏峥, 王涛威. SolidWorks 二次开发实例解析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004. (Jiang H, Wei Z, Wang T W. Examples analysis of secondary development of SolidWorks [M]. Beijing: China Machine Press, 2004.)
- [6] 王卫荣, 齐芬. SolidWorks 的二次开发在箱体类零件中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2007(2): 33-35. (Wang W R, Qi F. Application of further development of SolidWorks with VB in design of box-type component[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2007(2): 33-35.)
- [7] 林元华, 丁武学. 基于 SolidWorks 的同步带轮的二次开发[J]. 起重运输机械, 2011(8): 41-44. (Lin Y H, Ding W X. Further development of synchronous pulley based on SolidWorks [J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2011(8): 41-44.)
- [8] 田文涛, 贺小华. 基于 VB 技术的 SolidWorks 二次开发与应用[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(7): 65-67, 76. (Tian W T, He X H. The secondary development and application of SolidWorks based on the VB technology [J]. Computer Engineering & Science, 2009, 31(7): 65-67, 76.)
- [9] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(上册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 329, 352. (China Agricultural Mechanization Science Research Institute. Agricultural machinery design manual [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2007: 329, 352)
- [10] 赵勇宏. 如何实现 VB 与 Excel 的无缝连接[J]. 科技情报开发与经济, 2005, 15(7): 257-258. (Zhao Y H. How to realize the linkage of VB and Excel [J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2005, 15(7): 257-258.)