

# 可降解地膜原料大豆秸秆纤维的制备工艺及参数优化

李丽霞, 陈海涛\*

(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:** 为了解决秸秆和塑料地膜带来的环境污染问题, 高值化利用秸秆资源。该研究采用二次正交旋转中心组合试验方法, 探索运用物理方法制取清洁、高强度、高得率的可生物降解地膜原料-大豆秸秆纤维的可行性, 寻求物料特性和工作参数对制取大豆秸秆纤维的影响规律和最优工艺参数组合。分别选取大豆秸秆长度、浸泡时间、加工温度、主轴转速和喂入量为影响因素, 纤维得率、纤维长宽比及抗张强度为响应函数, 应用 Design-expert 6.0.10 软件设计方案与数据分析。试验结果表明: 当参数组合为秸秆长度 7 cm、浸泡时间 24 h、喂入量 27 g/min、工作温度 80~85℃、转速 110~120 r/min 时, 制得的大豆秸秆纤维得率大于 80%、干抗张强度大于 7 N、长宽比大于 5; 各因素对纤维得率贡献率的主次关系为: 浸泡时间>主轴转速>喂入量>秸秆长度>加工温度, 各因素对干抗张强度贡献率的主次关系为: 秸秆长度>加工温度>喂入量>浸泡时间>主轴转速, 各因素对纤维长宽比贡献率的主次关系为: 喂入量>秸秆长度>加工温度>浸泡时间>主轴转速。为利用大豆秸秆制备可降解地膜提供理论依据和技术支撑。

**关键词:** 秸秆, 纤维, 优化, 可降解地膜

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.13.043

中图分类号: S216.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-13-0269-07

李丽霞, 陈海涛. 可降解地膜原料-大豆秸秆纤维的制备工艺及参数优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 269-275.  
Li Lixia, Chen Haitao. Preparation technology and parameters optimization for soybean straw fiber as biodegradable film material[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(13): 269-275. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

中国是农业大国, 塑料地膜使用面积已跃居世界第一位<sup>[1]</sup>。随着塑料地膜的覆盖面积不断扩大, 带来一系列问题, 残留地膜不能降解并不断积累在农田中, 影响作物的生长发育, 造成土壤板结及严重的环境污染<sup>[2]</sup>。为彻底解决“白色污染”, 各国都在积极研制可降解环保地膜, 如光降解地膜、生物降解地膜、淀粉地膜和植物纤维地膜<sup>[3-7]</sup>。

2009 年中国豆类秸秆拥有量为 2 726 万 t, 但利用率仅为 30%。目前主要被用做饲料、燃料、保水剂和制板工艺原料、菌类栽培的基料, 部分被直接还田<sup>[8-14]</sup>。

秸秆纤维是巨大的可再生性生物高分子资源, 来源丰富、价格低廉, 用其做原料制备可降解地膜可替代部分石油化工类产品, 节省能源、变废为宝<sup>[15-16]</sup>。目前秸秆纤维应用的主要问题是纤维的提取方法, 采用蒸汽爆破、化学和生物方法存在经济成本高或产生环境污染等问题<sup>[17-18]</sup>。因此研究清洁制取纤维工艺迫在眉睫。

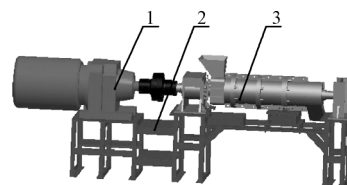
本研究通过多因子试验, 探索物理方法制取清洁、高强度、高得率的大豆秸秆纤维的可行性, 及物料特性和工作参数对大豆秸秆纤维性能的影响规律和最优参数组合。为利用大豆秸秆制备可降解地膜提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 材料与仪器设备

试验原料: 2010 年收东农-42 大豆秸秆 (东北农业大学试验基地)

仪器设备: 粉碎机 (辽宁省东港市新农镇振兴机械厂), 秸秆纤维制取机 (东北农业大学自制如图 1, 其主要工作参数为套筒内加工温度 25~120℃和主轴转速 0~140 r/min), Leica 显微镜, Leica Qwin Plus 软件 (北京中仪光科科技发展有限公司), 实验室打浆机 (中通试验装备有限公司), ZJG-100 型纸浆打浆度测试仪 (长春市月明小型试验有限责任公司), 万能试验机 (济南德瑞克仪器有限公司), ZCX-A 型纸页成型器 (长春市月明小型试验有限责任公司), 电子秤等。



1.动力系统 2.机架 3.主机

图 1 纤维制取机

Fig.1 Extracting fiber machine

收稿日期: 2011-07-19 修订日期: 2012-05-03

基金项目: 黑龙江省科技计划重点项目 (GA09B501); 哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目 (2006RFLXN002)。

作者简介: 李丽霞 (1983—), 女, 黑龙江, 博士生, 生物质转化与利用工程。哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030。

Email: lilixia\_2002@126.com

※通信作者: 陈海涛 (1962—), 男, 黑龙江, 教授, 博士生导师, 主要从事生物质材料和现代农业装备方面的研究。哈尔滨 东北农业大学工程学院, 150030。Email: haitao1963@yahoo.com.cn

## 2 试验方法

秸秆经切段、用水浸泡，调节制取机温度和转速，喂入制取纤维。

5 因素 5 水平 1/2 实施二次正交旋转中心组合试验方法<sup>[19-22]</sup>，应用 Design-expert 6.0.10 版本软件设计试验及分析结果。

### 2.1 试验方案

选取大豆秸秆长度、浸泡时间、套筒内加工温度、主轴转速和喂入量为试验因素；纤维得率、纤维长宽比及抗张强度为指标。在预试验中确定各因素水平，纤维制取机的喂入口容量限定大豆秸秆长度上限，浸泡时间 24 h 后秸秆吸收水分饱和，因此确定浸泡时间上限，秸秆焦化限度加工温度上限，转速以制取机正常加工纤维限定上下限，试验水平编码表如表 1 所示。

表 1 试验因子水平编码表

Table 1 Factors and level codes of experiment

大豆秸秆长度 $x_1/\text{cm}$	浸泡时间 $x_2/\text{h}$	加工温度 $x_3/^\circ\text{C}$	主轴转速 $x_4/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	喂入量 $x_5/(\text{g}\cdot\text{min}^{-1})$
1	0	60	60	10
2.5	6	70	75	20
4	12	80	90	30
5.5	18	90	105	40
7	24	100	120	50

### 2.2 试验指标测定

#### 2.2.1 纤维得率

纤维得率按公式 (1)<sup>[23]</sup> 计算

$$y = \frac{m_{d1}}{m_{d2}} \times 100\% \quad (1)$$

式中， $y$  为纤维得率，%； $m_{d1}$  为筛分除杂后可用的秸秆纤维质量 g； $m_{d2}$  为秸秆纤维制取机加工获得的粗纤维质量 g。

#### 2.2.2 纤维长宽比

借鉴“造纸纤维长度测定法”（GB10336-1989），选取长宽比作为纤维特性评价指标，按式 (2) 计算纤维长宽比<sup>[24]</sup>。

$$(L/D)_N = \frac{\sum N_i (L/D)_i}{\sum N_i} \quad (2)$$

式中， $(L/D)_N$  为平均纤维长宽比； $N_i$  为  $i$  组纤维的根数， $i=1,2,\dots,n$ ； $(L/D)_i$  为  $i$  组纤维长宽比的平均值。

#### 2.2.3 抗张强度

根据（GB/T 453—1989）<sup>[20]</sup>将每次制取的纤维，配制浆料成质量分数 5%，加平衡载荷打浆至叩解度 35°SR 时抄片，烘干成膜。将试片制成 15 mm 宽，10 cm 长样条，用万能试验机测试其抗张力，取平均值<sup>[25]</sup>。

## 3 结果与分析

试验方案与结果如表 2 所示。

表 2 试验方案及结果

Table 2 Experiment design and results

序号	秸秆长度 $x_1/\text{cm}$	浸泡时间 $x_2/\text{h}$	加工温度 $x_3/^\circ\text{C}$	转速 $x_4/$ $(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	喂入量 $x_5/$ $(\text{g}\cdot\text{min}^{-1})$	纤维得率 $y_1/\%$	干抗张强度 $y_2/\text{N}$	长宽比 $y_3$
1	2.5	6	70	75	40	62.7	5.0	5.97
2	5.5	6	70	75	20	81.0	4.7	2.49
3	2.5	18	70	75	20	73.4	3.4	3.43
4	5.5	18	70	75	40	77.6	5.1	3.41
5	2.5	6	90	75	20	70.5	3.9	2.90
6	5.5	6	90	75	40	52.6	5.7	3.47
7	2.5	18	90	75	40	77.9	5.7	3.37
8	5.5	18	90	75	20	76.5	5.5	3.39
9	2.5	6	70	105	20	65.7	5.1	2.73
10	5.5	6	70	105	40	75.1	6.6	3.01
11	2.5	18	70	105	40	74.1	2.8	4.27
12	5.5	18	70	105	20	83.7	4.9	3.50
13	2.5	6	90	105	40	82.1	4.4	4.17
14	5.5	6	90	105	20	72.7	5.6	3.68
15	2.5	18	90	105	20	78.1	4.2	3.22
16	5.5	18	90	105	40	78.2	7.2	2.99
17	1	12	80	90	30	76.3	3.4	2.87
18	7	12	80	90	30	58.0	5.4	3.35
19	4	0	80	90	30	67.7	4.3	2.93
20	4	24	80	90	30	76.9	4.8	3.27
21	4	12	60	90	30	77.9	2.5	3.89
22	4	12	100	90	30	70.4	6.7	4.30
23	4	12	80	60	30	66.6	5.0	3.60
24	4	12	80	120	30	78.4	4.3	4.10
25	4	12	80	90	10	82.2	4.6	3.44
26	4	12	80	90	50	67.5	5	3.99
27	4	12	80	90	30	83.7	4.3	3.60
28	4	12	80	90	30	70.2	4.9	3.60
29	4	12	80	90	30	72.4	5.4	3.48
30	4	12	80	90	30	71.1	5.1	2.53
31	4	12	80	90	30	70.2	4.6	4.30
32	4	12	80	90	30	70.2	4.9	3.53
33	4	12	80	90	30	78.3	5.6	3.31
34	4	12	80	90	30	72.1	5.1	3.93
35	4	12	80	90	30	77.1	5.1	3.48
36	4	12	80	90	30	81.1	6.3	3.45

### 3.1 纤维得率

#### 3.1.1 纤维得率回归方程

依据表 2 中试验数据，分析回归方程显著性如表 3 所示，纤维得率  $y_1$  回归模型在  $\alpha=0.05$  时 ( $p=0.0348$ ) 有意义；保留显著项在  $\alpha=0.1$  时得到各因素对纤维得率的影响规律如公式 3 所示。

$$y_1 = 98.28 + 0.57x_2 - 1.07x_4 - 1.62x_5 - 0.28x_1x_3 - 0.15x_1x_5 + 0.02x_4x_5 \quad (3)$$

式中， $y_1$  为纤维得率，%； $x_1$  为秸秆长度，cm； $x_2$  为浸泡时间，h； $x_3$  为加工温度， $^\circ\text{C}$ ； $x_4$  为转速， $\text{r}/\text{min}$ ； $x_5$  为喂入量， $\text{g}/\text{min}^{-1}$ 。

#### 3.1.2 各因素对纤维得率的影响

由  $F$  值得到各因素对纤维得率的因子贡献率为：浸

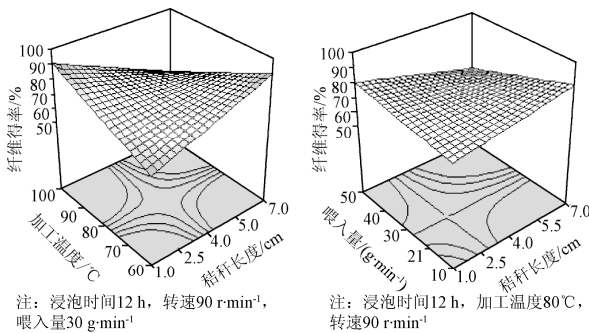
泡时间>主轴转速>喂入量>秸秆长度>加工温度。

表 3 纤维得率回归方程显著性分析

Table 3 Significance analysis of regression equation for fiber yield

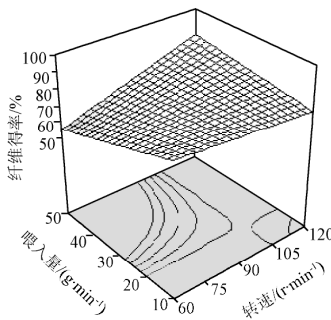
来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
回归	1007.05	15	67.14	2.39	0.0348
$x_1$	17.54	1	17.54	0.63	0.4382
$x_2$	217.68	1	217.68	7.76	0.0114
$x_3$	11.59	1	11.59	0.41	0.5275
$x_4$	140.26	1	140.26	5.00	0.0369
$x_5$	93.69	1	93.69	3.34	0.0825
$x_1x_2$	4.71	1	4.71	0.17	0.6863
$x_1x_3$	279.56	1	279.56	9.97	0.0049
$x_1x_4$	0.65	1	0.65	0.023	0.8807
$x_1x_5$	81.54	1	81.54	2.91	0.1036
$x_2x_3$	1.64	1	1.64	0.058	0.8114
$x_2x_4$	17.60	1	17.60	0.63	0.4375
$x_2x_5$	6.35	1	6.35	0.23	0.6393
$x_3x_4$	43.49	1	43.49	1.55	0.2273
$x_3x_5$	6.92	1	6.92	0.25	0.6248
$x_4x_5$	83.81	1	2.99	2.99	0.0992
剩余	560.69	20	28.03		
拟合	335.23	11	30.48		
误差	225.46	9	25.05		
总和	1567.74	35			

秸秆长度和加工温度对纤维得率的影响如图 2a 所示，当加工温度低于 80℃时，随着秸秆长度增加，纤维得率增加；当加工温度高于 80℃时，随着秸秆长度增加，



a. 秸秆长度和加工温度对纤维得率的影响

b. 秸秆长度和喂入量对纤维得率的影响



注：秸秆长度4 cm，浸泡时间12 h，加工温度80℃

c. 转速和喂入量对纤维得率的影响

图 2 两因素对纤维得率的影响

Fig.2 Effects of two factors on fiber yield

纤维得率下降。温度越高时，纤维制取机内秸秆含水率降低，秸秆在挤压摩擦过程中易出现断裂，细小纤维增加导致纤维得率降低。

秸秆长度和喂入量对纤维得率的影响如图 2b 所示，当喂入量小于 28 g/min 时，纤维得率随秸秆长度增加而增加；当喂入量大于 28 g/min 时，纤维得率随秸秆长度增加而降低。当喂入量适宜，秸秆长度越大、得到的细小纤维少，因此纤维得率高；当喂入量大时，秸秆相互挤压摩擦时间长，产生细小纤维导致纤维得率降低。

转速和喂入量对纤维得率的影响如图 2c 所示，当喂入量大于 20 g/min 时，转速越高、秸秆在纤维制取机内停留时间短，相互挤压摩擦的次数少，纤维得率提高；当喂入量小于 20 g/min 时，转速提高，纤维得率降低；喂入量过小，秸秆被挤压摩擦次数多，因此纤维得率降低。

### 3.2 干抗张强度

#### 3.2.1 干抗张强度回归方程

依据表 2 中试验数据，分析回归方程显著性如表 4 所示，干抗张强度  $y_2$  回归模型在  $\alpha=0.05$  时 ( $p=0.0027$ ) 有意义；保留显著项在  $\alpha=0.1$  时得到各因素对干抗张强度的影响规律如公式 4 所示。

$$y_2 = 10.37 - 1.54x_1 - 0.08x_3 - 0.03x_5 - 0.02x_1x_4 + 0.01x_2x_3 \quad (4)$$

式中， $y_2$  为干抗张强度，N； $x_1$  为秸秆长度，cm； $x_2$  为浸泡时间，h； $x_3$  为加工温度，℃， $x_4$  为转速，r/min； $x_5$  为喂入量，g/min。

表 4 干抗张强度回归方程显著性分析

Table 4 Significance analysis of regression equation for dry tensile strength

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
回归	25.39	15	1.69	3.90	0.0027
$x_1$	9.10	1	9.10	20.96	0.0002
$x_2$	0.062	1	0.062	0.14	0.7095
$x_3$	6.93	1	6.93	15.97	0.0007
$x_4$	$5.400 \times 10^{-3}$	1	$5.400 \times 10^{-3}$	0.012	0.9123
$x_5$	1.52	1	1.52	3.50	0.0760
$x_1x_2$	0.32	1	0.32	0.75	0.3973
$x_1x_3$	0.031	1	0.031	0.071	0.7933
$x_1x_4$	1.46	1	1.46	3.37	0.0812
$x_1x_5$	0.41	1	0.41	0.94	0.3430
$x_2x_3$	4.10	1	4.10	9.44	0.0060
$x_2x_4$	0.59	1	0.59	1.37	0.2563
$x_2x_5$	0.020	1	0.020	0.045	0.8339
$x_3x_4$	0.021	1	0.021	0.048	0.8281
$x_3x_5$	0.30	1	0.30	0.68	0.4180
$x_4x_5$	0.50	1	0.50	1.16	0.2941
剩余	8.68	20	0.43		
拟合	6.04	11	0.55		
误差	2.64	9	0.29		
总和	34.07	35			

#### 3.2.2 各因素对干抗张强度的影响

由 F 值可得各因素对干抗张强度的因子贡献率为：秸秆长度>加工温度>喂入量>浸泡时间>主轴转速。

秸秆长度和转速对抗张强度的影响如图 3a 所示,当秸秆长度小于 4 cm 时,转速增高强度降低;当秸秆长度大于 4 cm 时,转速增高强度增加。秸秆长度大,转速增高,秸秆被挤压摩擦的次数少,细小纤维少,干抗张强度高。浸泡时间和加工温度对抗张强度的影响如图 3b 所示,当浸泡时间大于 6 h,干抗张强度随温度升高而提高;当浸泡时间小于 6 h,干抗张强度随温度升高而降低。而当温度高于 80℃时,随浸泡时间增大,干抗张强度增加。

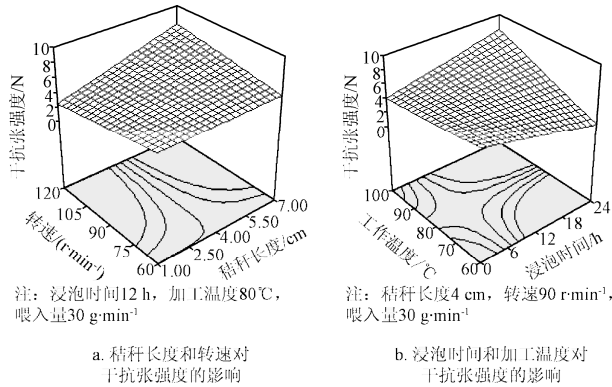


图 3 两因素对抗张强度的影响

Fig.3 Effects of two factors on dry tensile strength

### 3.3 长宽比

#### 3.3.1 长宽比回归方程

依据表 2 中试验数据,分析回归方程显著性如表 5 所示,长宽比  $y_3$  回归模型在  $\alpha=0.05$  时 ( $p=0.0348$ ) 有意义;保留显著项在  $\alpha=0.1$  时得到各因素对长宽比的影响规律如公式 5 所示。

表 5 长宽比回归方程显著性分析

Table 5 Regression equation significance analysis for length-width ratio of fiber

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
回归	8.85	15	0.59	2.39	0.0348
$x_1$	0.42	1	0.42	1.69	0.2085
$x_2$	$1.067 \times 10^{-3}$	1	$1.067 \times 10^{-3}$	$4.331 \times 10^{-3}$	0.9482
$x_3$	0.027	1	0.027	0.11	0.7455
$x_4$	$8.167 \times 10^{-4}$	1	$8.167 \times 10^{-4}$	$3.316 \times 10^{-3}$	0.9547
$x_5$	1.72	1	1.72	6.97	0.0157
$x_1x_2$	0.28	1	0.28	1.14	0.2983
$x_1x_3$	0.93	1	0.93	3.78	0.0660
$x_1x_4$	0.18	1	0.18	0.73	0.4020
$x_1x_5$	2.02	1	2.02	8.19	0.0097
$x_2x_3$	0.17	1	0.17	0.70	0.4129
$x_2x_4$	0.16	1	0.16	0.67	0.4241
$x_2x_5$	1.17	1	1.17	4.74	0.0417
$x_3x_4$	0.46	1	0.46	1.88	0.1858
$x_3x_5$	0.86	1	0.86	3.47	0.0771
$x_4x_5$	0.46	1	0.46	1.85	0.1889
剩余	4.93	20	0.25		
拟合	3.1	11	0.28		
误差	1.82	9	0.20		
总和	13.77	35			

$$y_3 = 5.54 + 0.46x_5 + 0.01x_1x_3 - 0.02x_1x_5 - 0.01x_2x_5 + 0.01x_3x_4 - 0.01x_3x_5 - 0.011x_4x_5 \quad (5)$$

#### 3.3.2 各因素对长宽比的影响

由  $F$  值得各因素对长宽比的因子贡献率为:喂入量>秸秆长度>加工温度>浸泡时间>主轴转速。

秸秆长度和加工温度对长宽比的影响如图 4a 所示,当秸秆长度小于 4 cm,加工温度升高,纤维长宽比变小;当秸秆长度大于 4 cm,加工温度升高,纤维长宽比变大。当加工温度小于 85℃时,秸秆长度增加,纤维长宽比减小;当加工温度大于 85℃时,秸秆长度增加,纤维长宽比增大。本试验纤维长宽比小的主要原因是纤维宽度大,纤维粗大导致的;温度升高,纤维结构被破坏,结晶区变得松散,纤维素和半纤维素及木质素的间隙变大,纤维宽度减小因此长宽比增加。

秸秆长度和喂入量对长宽比的影响如图 4b 所示,当喂入量小于 28 g/min 时,秸秆长度增大,长宽比增大;当喂入量大于 28 g/min 时,秸秆长度增大,长宽比减小。当喂入量大时,秸秆相互被挤压摩擦次数和机会增大,因此纤维长度小导致长宽比减小。

浸泡时间和喂入量对长宽比的影响如图 4c 所示,当喂入量小于 30 g/min 时,长宽比随浸泡时间增加而增大。当喂入量大于 30 g/min 时,长宽比随浸泡时间增大而降低。当喂入量大于 30 g/min 时,秸秆相互挤压摩擦次数和机会增加,因此纤维长宽比降低。

加工温度和转速对长宽比的影响如图 4e 所示,当转速小于 90 r/min 时,加工温度提高,长宽比降低;当转速大于 90 r/min 时,加工温度提高,长宽比增加。当转速低时,秸秆在机器内停留时间长,挤压程度高,纤维细小导致长宽比下降。当温度低于 80℃时,转速增加,纤维长宽比降低;当温度大于 80℃时,转速增加,纤维长宽比增加。温度提高,纤维结构被破坏,结晶区变得松散导致纤维宽度减小,因此长宽比增加。

转速和喂入量对长宽比的影响如图 4f 所示,当喂入量小于 30 g/min 时,转速增大,长宽比增大。当喂入量大于 30 g/min 时,转速增大,长宽比降低。当转速低时,秸秆在纤维制取机内停留时间长,搓擦程度高纤维细小,长宽比下降。当喂入量大于 30 g/min 时,相互挤压摩擦次数和机会增加,因此纤维长宽比降低。

秸秆长度保证纤维长度,浸泡时间影响含水率,加工温度影响纤维特性。螺杆转速和喂入量直接影响秸秆物料在挤压腔内的停留时间,停留时间过短,物料形态特性难于改变;停留时间过长,物料易产生热分解,甚至碳化。

## 4 工艺参数优化及验证试验

应用 Design-expert 6.0.10 版本软件优化工艺参数,在秸秆长度 1~7 cm、浸泡时间 0~24 h、喂入量 10~50 g/min、温度 60~100℃、转速 60~120 r/min 约束下,设定和调节目标函数满足纤维得率大于 80%,干抗张强度大于 7 N,长宽比大于 5,使其相交成封闭区域。秸秆长

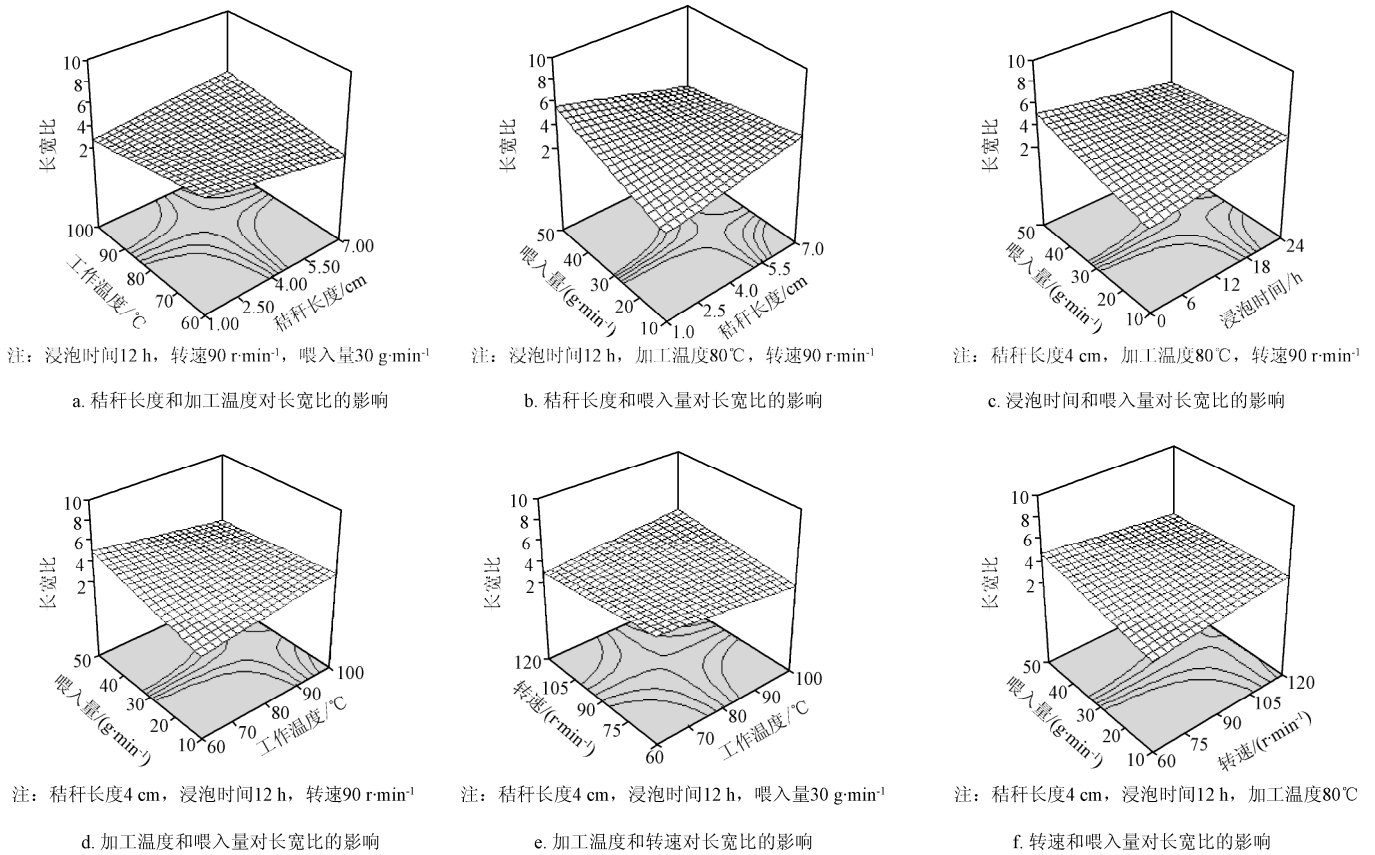
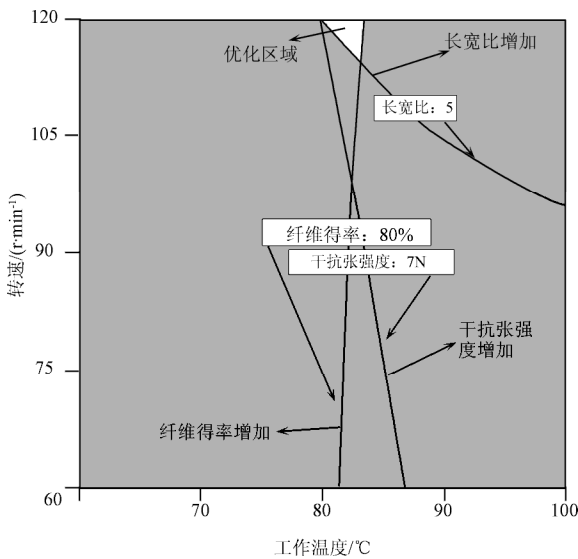


图 4 两因素对长宽比的影响  
 Fig. 4 Effects of two factors on length-width ratio of fiber

度越长越好，但由于制取机喂入口容量限度，取秸秆长度最大值 7 cm，温度和转速越低，越节省能源。因此得到如图 5 所示的交叉的白色区域为最优结果，工艺参数优化结果为：秸秆长度 7 cm、浸泡时间 24 h、喂入量 27 g/min、温度 80~85℃、转速 110~120 r/min。



注：秸秆长度 7 cm，浸泡时间 24 h，喂入量 27 g/min

图 5 试验最优方案  
 Fig.5 Optimal scheme of experiment

按最优工艺：秸秆长度 7 cm，浸泡时间 24 h，喂入量 27 g/min，温度 80℃、转速 110 r/min，制取纤维并制造出地膜试样，分别测定各指标，取 10 次平行验证，验证结果纤维得率 81.3%，纤维长宽比 5.1，干抗张强度 6.98 N。

### 5 结论

1) 在秸秆长度 1~7 cm、浸泡时间 0~24 h、喂入量 10~50 g/min、温度 60~100℃、转速 60~120 r/min 约束下，满足纤维得率大于 80%，干抗张强度大于 7 N，长宽比大于 5 的最优方案：秸秆长度为 7 cm、浸泡时间为 24 h、喂入量为 27 g/min、温度 80~85℃、转速 110~120 r/min。按最优工艺：秸秆长度 7 cm，浸泡时间 24 h，喂入量 27 g/min，温度 80℃、转速 110 r/min，制取纤维并制造出地膜试样，分别测定各指标，取 10 次平行验证，验证结果纤维得率 81.3%，纤维长宽比 5.1，干抗张强度 6.98 N。

2) 各因素对纤维得率的因子贡献率为：浸泡时间>主轴转速>喂入量>秸秆长度>加工温度；对干抗张强度的因子贡献率为：秸秆长度>加工温度>喂入量>浸泡时间>主轴转速；对长宽比的因子贡献率为：喂入量>秸秆长度>加工温度>浸泡时间>主轴转速。

### [参考文献]

[1] 张颖, 王晓辉. 农业固体废弃物资源化利用[M]. 化学工业出版社, 2005.

- [2] 张清涛, 邱国玉, 李莉, 等. 抑制农田土壤蒸发的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 87-89.  
Zhang Qingtao, Qiu Guoyu, Li Li, et al. Advances in the inhibition of soil evaporation in farmland[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14(1): 87-89. (in Chinese with English abstract)
- [3] Wang Xing, Lu Jialong, Zhang Yiping. Pyrolysis characteristics and thermal kinetics of degradable films[J]. Pedosphere, 2007, 17(5): 654-659.
- [4] Lee Tin Sin, W.A.WA.Rahman, Rahmat A R. Detection of synergistic interactions of polyvinyl alcohol-cassava starch blends through DSC[J]. Carbohydrate Polymers, 2010,79(1): 224-226.
- [5] Han Guoxing, Shang Wentang, Hua Litang. The structure and properties of a starch-based biodegradable film[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 71(2): 263-268.
- [6] Moreno M M, Moreno A. Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 116(3): 256-263.
- [7] S.Panthapulakkal, A.Zereshkian, M.Sain.Preparation and characterization of wheat straw fibers for reinforcing application in injection molded thermoplastic composites[J]. Bioresource Technology, 2006, 97(2): 265-272.
- [8] 左广玲, 叶红勇, 李入林, 等. 利用大豆秸秆制备农用保水剂及其保水性能研究[J]. 河南农业科学, 2010(4): 50-56.  
Zuo Guangling, Ye Hongyong, Li Rulin, et al. Synthesis and water-holding performance of agricultural water retaining agent made from soybean straw[J]. Editorial Board of Journal of Henan Agricultural Sciences, 2010(4): 50-56. (in Chinese with English abstract)
- [9] 李振江, 陈淑凤, 程洪海. 利用大豆秸秆栽培平菇技术研究[J]. 食用菌, 2004(4): 16-17.
- [10] 卢焕玉, 李杰. 大豆秸秆作为粗饲料的营养价值评定[J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(3): 36-38.
- [11] 左广玲, 叶红勇, 杜朝军, 等. 大豆秸秆基保水剂对南阳烟田土壤物理性状及烟叶生长的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 15-19.  
Zuo Guangling, Ye Hongyong, Du Chaojun, et al. Effects of soybean straw-based water retaining agent on tobacco growth and soil physical properties of tobacco field in Nanyang[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(2): 15-19. (in Chinese with English abstract)
- [12] 徐忠, 汪群慧, 姜兆华. 大豆秸秆纤维固态发酵及酶解条件的研究[J]. 林产化学与工业, 2004, 24(4): 107-110.  
Xu Zhong, Wang Qunhui, Jiang Zhaohua. Study on condition of solid-substrate fermentation and enzymolysis of soybean stalk[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2004, 24(4): 107-110. (in Chinese with English abstract)
- [13] 程颖颖. 大豆秸秆饲用品质性状的遗传研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.  
Cheng Yingying. Genetic Research of Feeding Quality Traits in Soybean Straw[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [14] 冯茵菲, 邱凌, 王晓曼, 等. 葵盘、麦秆和豆秆中温厌氧发酵产气潜力及特性研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(6): 361-364.  
Feng Yinfei, Qiu Ling, Wang Xiaoman, et al. Biogas potential and characteristics in medium temperature anaerobic fermentation of sunflower plate, wheat straw and bean straw[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2009, 18(6): 361-364. (in Chinese with English abstract)
- [15] 陈洪章. 生物质科学与工程[M]. 化学工业出版社, 2008.
- [16] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 211-217.  
Bi Yujun, Gao Chunyu, Wang Yajing et al. Estimation of straw resources in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(12): 211-217. (in Chinese with English abstract)
- [17] 潘明珠, 连海兰, 周定国. 不同预处理方法对稻秸秆纤维表面化学特性及稻秸秆纤维板性能的影响[J]. 林产工业, 2006, 33(4): 24-26.  
Pan Mingzhu, Lian Hailan, Zhou Dingguo. Effects of different treatments on chemical characteristics of straw fiber and properties of straw fiberboard[J]. China forest products industry, 2006, 33(4): 24-26. (in Chinese with English abstract)
- [18] 杨慧群, 陈丽. 膨爆法对秸秆纤维材料表面形态的影响[J]. 华北工学院学报, 2002, 23(1): 34-36.  
Yang Huiqun, Chen Li. The influence of explosion on stalk material[J]. Journal of North China Institute of Technology, 2002, 23(1): 34-36. (in Chinese with English abstract)
- [19] 韩永俊, 陈海涛, 刘丽雪, 等. 水稻秸秆纤维地膜制造工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 242-247.  
Han Yongjun, Chen Haitao, Liu Lixue, et al. Optimization of technical parameters for making mulch from rice straw fiber[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(3): 242-247. (in Chinese with English abstract)
- [20] Umesh K. Garg, Kaur MP, Garg VK, et al. Removal of Nickel(II) from aqueous solute -on by adsorption on agricultural waste biomass using a response surface methodological approach[J]. Bioresource technology, 2008, 99: 1325-1331.
- [21] Piyushkumar Mundra, Kiran Desai, Lele SS. Application of response surface methodol-ogy to cell immobilization for the production of palatinose[J]. Bioresource Technology, 2007, 98: 2892-2896.
- [22] 李兴江, 罗永忠, 姜绍通, 等. 农作物秸秆发酵制备丁二酸的代谢工艺优化[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 161-167.  
Li Xingjiang, Luo Shuizhong, Jiang Shaotong, et al. Optimization of metabolic technology for the bioconversion of succinic acid from crop straw[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(12): 161-167. (in Chinese with English abstract)
- [23] 韩永俊, 陈海涛, 刘丽雪, 等. 水稻秸秆纤维制取工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 281-286.  
Han Yongjun, Chen Haitao, Liu Lixue, et al. Optimization of

- technical parameters for preparing fiber from rice straw[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(4): 281—286. (in Chinese with English abstract)
- [24] 刘丽雪, 陈海涛, 韩永俊. 沼渣物理特性及沼渣纤维化学成分测定与分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 277—280. Liu Lixue, Chen Haitao, Han Yongjun. Determination and analysis of physical characteristics and fiber chemical composition of biogas residue[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(7): 277—280. (in Chinese with English abstract)
- [25] 造纸工业测试方法标准汇编[S]. 轻工业标准编辑出版委员会, 1990, 631—637.

## Preparation technology and parameters optimization for soybean straw fiber as biodegradable film material

Li Lixia, Chen Haitao<sup>\*</sup>

(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of environmental pollution caused by straw burning and plastic film, straw resources should be utilized with high value. The method of the central composite rotatable quadratic orthogonal experimental design was applied to explore the possibility for preparing soybean straw fiber as clean, high strength and high yield raw material for biodegradable film with physical method. The effects of material characteristics and operating parameters on soybean straw fiber properties and optimal parameters combination were studied. Soybean stalk length, soak time, operation temperature, spindle speed and feeding rate were selected as influence factors. Fiber yield, fiber aspect ratio and tensile strength were selected as response functions. The Design-expert 6.0.10 software was applied to design the scheme and analyze the data. The results showed that 1) with the parameters of straw length 7 cm, soaking time 24 h, feeding rate 27 g/min, operation temperature 80~85°C and spindle speed 110~120 r/min, the fiber yield was over 80%, dry tensile strength was over 7 N, aspect ratio was over 5. 2) The order of contribution rate of all the factors on fiber yield was: soak time>spindle speed>feed rate>stalk length> operation temperature; The order of contribution rate of all the factors on tensile strength was: stalk length> operation temperature> feed rate>soak time>spindle speed; The order of contribution rate of all the factors on fiber aspect ratio was: feeding rate>stalk length>operation temperature>soak time>spindle speed. The research can provide a theoretical and technical support for manufacturing biodegradable film with soybean straw.

**Key words:** straw, fibers, optimization, biodegradable film