

# 低定量环保型水稻秸秆纤维地膜制造工艺参数优化

明向兰<sup>1</sup>,陈海涛<sup>2\*</sup>,魏志鹏<sup>2</sup>

(1.岭南师范学院机电工程学院,湛江 524048;2.东北农业大学工程学院,哈尔滨 150030)

**摘要:**为解决中国农业生产中化肥农药长期不合理的施用、秸秆和土壤中残膜等农业废弃物不合理的处置等农业面源严重污染的问题,为降低生物质基降解地膜的生产成本、节约纤维用量,探究低定量环保型可降解纤维地膜制造工艺参数的最优组合,对55 g/m<sup>2</sup>低定量环保型水稻秸秆纤维地膜的工艺及性能进行了试验研究。以水稻秸秆纤维为主要原料,添加商品浆、功能助剂等,应用五因素五水平1/2实施正交旋转中心组合试验方法,以打浆度、混合比、松香、矾土和湿强剂质量分数为影响因子,以地膜的干抗张力、湿抗张力、耐破度为响应函数,研究得出了打浆度31°~48°、混合比45%~50%、松香质量分数1.2%、矾土质量分数6%、湿强剂质量分数2.0%的低定量环保型水稻秸秆纤维地膜最佳工艺参数组合,所得纤维地膜的干抗张力大于32 N、湿抗张力大于12 N、耐破度大于100 kPa,可满足地膜田间覆盖机械性能要求。研究结果为水稻秸秆制备可降解地膜提供理论依据和技术支撑。

**关键词:**水稻;秸秆;纤维;地膜;正交旋转中心组合试验;机械强度

doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2019.19.032

中图分类号:S216.2

文献标志码:A

文章编号:1002-6819(2019)-19-0259-08

明向兰,陈海涛,魏志鹏.低定量环保型水稻秸秆纤维地膜制造工艺参数优化[J].农业工程学报,2019,35(19):259—266. doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2019.19.032 <http://www.tcsae.org>

Ming Xianglan, Chen Haitao, Wei Zhipeng. Optimization of technical parameters for making light-basis-weight and environment-friendly rice straw fiber film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(19): 259—266. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975 / j. issn. 1002-6819.2019.19.032 <http://www.tcsae.org>

## 0 引言

目前中国农用化肥单位面积平均施用量(434.3 kg/hm<sup>2</sup>)是国际公认的化肥施用安全上限(225 kg/hm<sup>2</sup>)的1.93倍<sup>[1-3]</sup>。化肥的过量施用造成了土壤板结和酸化,增加了农作物病害几率,从而增加了农药的使用量,据统计,2015年中国农业用药30万t<sup>[4-5]</sup>。由于过度的肥药施用造成土壤微生态环境受损严重,农户为了保产施用更多的肥药,中国农业生产正陷入这样一个恶性循环中<sup>[6]</sup>。合理减少化肥农药的使用迫在眉睫,使用地膜是有效减少化肥、农药使用量的方法之一。

传统塑料地膜可以提高地温,保墒性能好。但是其难回收、难降解、污染严重的缺点一直无法解决。不能被土壤微生物分解,不能被农作物吸收利用,也不易于回收利用的残留在土壤中的塑料地膜(以下简称残膜),成为分隔土壤的“隔膜”,不仅破坏土壤的团粒结构,还造成土壤及生活环境的重度污染<sup>[7-11]</sup>。

中国是农业大国,根据中国农作物种植面积测算,2017年中国秸秆理论资源量为8.84亿t,可收集资源量约为7.36亿t,全国秸秆的综合利用率超过82%,主要以肥料化利用为主,其次是饲料化、燃料化,最后是基料化、原料化。但每年中国仍然存在着农作物秸秆被就地焚烧或闲置的情况(约2亿t的农作物秸秆),造成了极大的资源浪费和环境污染<sup>[12-15]</sup>。

由于化肥、农药的长期不合理加之过量的施用,以及农作物秸秆和土壤中残膜等农业废弃物不合理的处置等,造成了农业面源的严重污染,加剧了农产品质量安全风险。为此农业部制定出台了《农业部关于打好农业面源污染防治攻坚战的实施意见》,要求确保到2020年要实现“一控两减三基本”的目标<sup>[16-17]</sup>。因此,按照取自自然,造福人类,回归自然的原则,从高效、优质和可持续发展的视角出发,充分利用可再生资源,采用植物秸秆为原料制造植物纤维地膜可以实现对其高值无害化利用,减少化肥农药的施用,避免土壤和环境污染,是一种理想的秸秆利用方式,是构建资源环境和谐发展、循环经济型社会的必然趋势。

低定量涂布纸,基本是指定量在70 g/m<sup>2</sup>以下的涂布纸。同时,把其中定量在45 g/m<sup>2</sup>以下的称为超低定量涂布纸或超轻量涂布纸。国际上,低定量涂布纸广义上指的是总定量不超过50~60 g/m<sup>2</sup><sup>[18]</sup>。以秸秆纤维基地膜的技术经济性为出发点,在保证性能的基础上降低地膜的

收稿日期:2019-01-29 修订日期:2019-08-25

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0201004)

作者简介:明向兰,博士,主要从事生物质材料技术研究。Email:mingxianglan521@126.com

\*通信作者:陈海涛,教授,博士生导师,主要从事生物质材料技术装备和旱作农业装备技术方向的研究。Email:htchen@neau.edu.cn

定量可以节约纤维用量,降低生产成本,提高生产效率,更重要的是它可以满足市场需求。

为了充分利用水稻秸秆纤维的绿色环保性<sup>[19-20]</sup>,并使所得低定量纤维地膜具有较好的力学性能。本研究旨在通过正交旋转中心组合试验,研究水稻秸秆纤维抄制55 g/m<sup>2</sup>低定量环保型可降解纤维地膜制造工艺参数优化组合,为水稻秸秆制造可降解地膜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

试验材料:水稻秸秆纤维原料(2018年秋收获的东农425水稻秸秆,由D200型秸秆纤维制取机制取,经过FB-1型分析筛筛分保留≤10 mm纤维,平均长宽比的分布范围为22.8~58.3<sup>[21]</sup>,<1 mm组分的最小,>5 mm组分的最大),商品浆。功能助剂:施胶剂分散松香胶(质量分数50%)(以下简称“松香”)、硫酸铝(质量分数10%)(以下简称“矾土”)、湿强剂(质量分数15%)。

试验仪器与设备:FB-1型分析筛,ZJG-100纸浆打浆度测定仪(长春市月明小型试验机有限公司),ZT4-00瓦利打浆机(陕西中通试验装备有限公司),ZCX-A纸页成型器(长春市月明小型试验机有限公司),YB502电子秤(精度0.01 g,上海海康电子仪器厂),DGG-9070 AD型电热恒温鼓风干燥箱(上海森信实验仪器有限公司),ZL-300摆锤式纸张抗张强度试验机(济南德瑞克仪器有限公司),ZDNP-1型电子式纸张耐破度测定仪(长春市月明小型试验机有限责任公司)。

1.2 试验方法

由教研室前期试验结果可知,影响低定量环保型水稻秸秆纤维地膜性能的因素主要有打浆度、混合比、松香质量分数、矾土质量分数、湿强剂质量分数。采用五因素五水平1/2实施正交旋转组合设计的试验方法,分别测定其干抗张力、湿抗张力和耐破度,并以此为评价指标,分析各因素对试验结果影响的大小,各项评价指标均以10次重复的均值为试验结果。混合比是指商品浆干物质占总浆量干物质的百分比。干湿抗张力表征了纤维地膜承受纵向负荷而断裂时的最大负荷,耐破度是指纤维地膜在单位面积上所能承受的均匀增大的最大压力<sup>[21]</sup>。影响因素水平编码表,如表1所示。试验过程中商品浆打浆度设定为40<sup>o[22]</sup>。

表1 因素水平编码表  
Table 1 Factor level code

水平 Level	因素 Factors				
	打浆度 Beating degree (x <sub>1</sub> )/(°)	混合比 Mixing ratio (x <sub>2</sub> )/%	松香质量分数 Rosin mass fraction (x <sub>3</sub> )/%	矾土质量分数 Bauxite massfraction (x <sub>4</sub> )/%	湿强剂质量分数 Wet strength agent mass fraction (x <sub>5</sub> )/%
-2	30	10	0.6	3	1.4
-1	35	20	0.8	4	1.6
0	40	30	1.0	5	1.8
1	45	40	1.2	6	2.0
2	50	50	1.4	7	2.2

1.3 制膜工艺

对水稻秸秆纤维和商品浆按照QB/T24325-2009标准,打浆至表2中试验方案相应的打浆度,2种浆料按照

试验方案中的比例混合,对照方案加入相应的松香、矾土、湿强剂进行搅拌<sup>[23]</sup>,然后参照QB/T24324-2009标准将浆料抄成定量为55 g/m<sup>2</sup>样片,经过压榨、干燥(真空度达96 kPa,温度约97℃,干燥5~7 min)。测定干抗张力参照GB/T22898-2008标准,将轻轻拉直的试样夹在ZL-300摆锤式纸张抗张强度试验机的2个夹头上,使试验机以100 mm/min的拉伸速度将规定尺寸的试样拉伸至断裂,试验机自动记录抗张力,重复10次试验并记录试验数据计算均值。测定湿抗张力参照GB/T465.2-2008标准,将浸入蒸馏水中2 h后的试样取出,使用滤纸轻轻吸去试样表面的水,然后轻轻拉直迅速夹在ZL-300摆锤式纸张抗张强度试验机的2个夹头上测试其抗张力,重复10次试验并记录试验数据计算均值。测定耐破度参照GB/T454-2002标准,将处理好的试样放置于ZDNP-1型电子式纸张耐破度测定仪的弹性胶膜上,紧紧夹住试样周边,使之与胶膜一起自由凸起<sup>[24]</sup>。当液压流体以稳定速率泵入,使胶膜凸起直至试样破裂时,测定仪记录所施加的最大压力,即试样耐破度,重复20次试验并记录试验数据计算均值。最后应用Design-Expert 6.0.10软件对数据进行统计分析<sup>[25]</sup>。

2 结果与分析

2.1 试验结果

试验结果如表2所示。

2.2 回归模型

对试验结果进行分析,干抗张力y<sub>1</sub>(N)、湿抗张力y<sub>2</sub>(N)、耐破度y<sub>3</sub>(kPa)二次项模型(quadratic)有意义(P<0.000 1),在置信度α=0.05下,进行F检验,剔除不显著项后,得到的回归模型,如式(1)~式(3)所示。

$$y_1 = 17.30 - 0.20x_1 + 3.30x_2 + 0.45x_3 + 0.47x_4 + 2.00x_5 - 1.47x_1^2 + 1.32x_2^2 + 1.55x_4^2 + 2.26x_2x_3 - 1.36x_2x_4 + 1.86x_3x_5 \quad (1)$$

$$y_2 = 5.43 - 0.12x_1 + 0.98x_2 + 0.19x_3 + 0.26x_4 + 0.77x_5 - 0.54x_1^2 + 0.45x_2^2 + 0.67x_4^2 + 0.85x_2x_3 + 0.098x_3x_5 \quad (2)$$

$$y_3 = 88.22 + 1.13x_1 + 9.21x_2 + 2.63x_3 + 2.13x_4 + 4.62x_5 - 4.05x_1^2 + 3.95x_2^2 + 5.57x_4^2 + 6.19x_2x_3 - 6.06x_3x_4 + 6.94x_3x_5 \quad (3)$$

式中x<sub>1</sub>为打浆度,(°);x<sub>2</sub>为混合比,%;x<sub>3</sub>为松香质量分数,%;x<sub>4</sub>为矾土质量分数,%;x<sub>5</sub>为湿强剂质量分数,%。

2.3 回归模型方差分析

对式(1)~式(3)进行方差分析,结果如表3所示。

由表3可知,每个指标拟合项的F<sub>1</sub><F<sub>0.05</sub>,说明模型拟合效果好,回归项F<sub>2</sub>>F<sub>0.05</sub>,说明回归方程极显著。

2.4 各因素对各项性能指标影响主次分析

参照徐中儒关于多元二次回归中各因素重要性的计算方法<sup>[25]</sup>。对于由试验数据所建立的二次回归方程,可利用对二次方程系数的检验结果,来判断因素对y作用的程度。

表 2 试验方案与结果  
Table 2 Experimental plan and results

序号 No.	打浆度 Beating degree	混合比 Mixing ratio	松香水平 Rosin level	矾土水平 Bauxite level	湿强剂水平 Wet strength agent level	干抗张力 Dry tensile strength ( $y_1$ )/N	湿抗张力 Wet tensile strength ( $y_2$ )/N	耐破度 Bursting strength $g_3$ /kPa
1	-1	-1	-1	-1	1	16.9	5.2	67
2	1	-1	-1	-1	-1	12.2	3.6	81
3	-1	1	-1	-1	-1	17.7	5.3	92
4	1	1	-1	-1	1	19.8	5.6	95
5	-1	-1	1	-1	-1	12.1	4.1	80
6	1	-1	1	-1	1	18.1	5.4	91
7	-1	1	1	-1	1	30.4	9.7	127
8	1	1	1	-1	-1	19.7	5.6	96
9	-1	-1	-1	1	-1	24.6	8.1	112
10	1	-1	-1	1	1	21.3	7.6	107
11	-1	1	-1	1	1	19.3	5.9	93
12	1	1	-1	1	-1	17.6	5.1	92
13	-1	-1	1	1	1	18.7	5.7	93
14	1	-1	1	1	-1	9.4	3.4	64
15	-1	1	1	1	-1	17.4	5.6	92
16	1	1	1	1	1	26.3	8.7	117
17	-2	0	0	0	0	9.2	3.1	62
18	2	0	0	0	0	13.1	3.9	82
19	0	-2	0	0	0	11.2	3.7	76
20	0	2	0	0	0	33.4	11.2	132
21	0	0	-2	0	0	15.4	4.7	71
22	0	0	2	0	0	19.4	6.1	92
23	0	0	0	-2	0	22.3	8.2	108
24	0	0	0	2	0	24.1	8.5	113
25	0	0	0	0	-2	18.2	5.4	92
26	0	0	0	0	2	22.1	8.1	107
27	0	0	0	0	0	16.2	5.3	75
28	0	0	0	0	0	18.1	5.4	91
29	0	0	0	0	0	19.6	6.1	94
30	0	0	0	0	0	12.4	3.7	80
31	0	0	0	0	0	13.8	4.1	83
32	0	0	0	0	0	21.6	7.4	104
33	0	0	0	0	0	11.7	3.7	78
34	0	0	0	0	0	13.6	3.9	82
35	0	0	0	0	0	22.8	7.3	109
36	0	0	0	0	0	16.7	5.3	77

表 3 回归模型方差分析  
Table 3 Variance analysis of regression model

变异来源 Source	项目 Item	平方和 Sum of Squares	自由 度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	临界值 Critical value
干抗张力 Dry tensile strength	回归	735.95	11	66.90	$F_2=5.19$	$F_{0.05}(11,24)=2.22$
	剩余	309.41	24	12.89		
	拟合	176.09	15	11.74	$F_1=0.79$	$F_{0.05}(15,9)=3.01$
	误差	133.32	9	14.81		
	总和	1045.36	35			
湿抗张力 Wet tensile strength	回归	86.27	10	8.63	$F_2=4.70$	$F_{0.05}(10,25)=2.24$
	剩余	45.90	25	1.84		
	拟合	28.38	16	1.77	$F_1=0.91$	$F_{0.05}(16,9)=3.00$
	误差	17.52	9	1.95		
	总和	132.17	35			
耐破度 Bursting strength	回归	6 841.24	11	621.93	$F_2=4.93$	$F_{0.05}(11,24)=2.22$
	剩余	3 027.07	24	126.13		
	拟合	1 774.97	15	118.33	$F_1=0.85$	$F_{0.05}(15,9)=3.01$
	误差	1 252.10	9	139.12		
	总和	9 868.31	35			

各因素对各项指标的贡献率如表 4。  
结果表明,对于干抗张力,各因素的贡献率大小依次是  $x_2>x_5>x_4>x_1>x_3$ 。各因素对湿抗张力贡献率大小依次为

表 4 各因素对性能指标的贡献率  
Table 4 Importance of factors effecting response functions

因素 Factor	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$x_1$	0.812	0.801	0.760
$x_2$	2.422	2.057	2.082
$x_3$	0.804	0.722	0.789
$x_4$	1.113	0.874	1.266
$x_5$	1.248	1.171	1.172

$x_2>x_5>x_4>x_1>x_3$ 。各因素对耐破度贡献率大小依次为  $x_2>x_4>x_5>x_3>x_1$ 。

2.5 各因素对各项性能指标影响规律

2.5.1 干抗张力

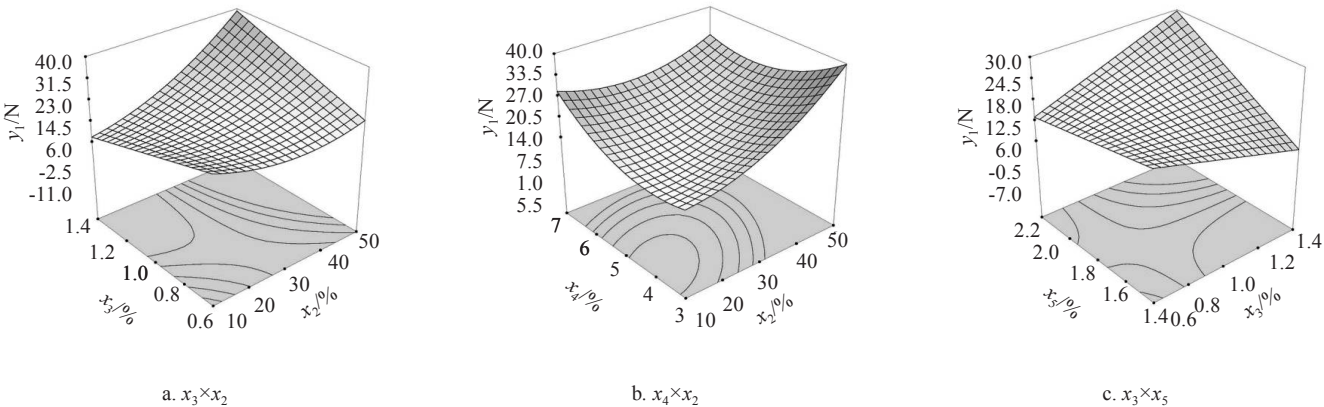
混合比和松香质量分数在其他因素为 0 水平时对干抗张力的影响如图 1a 所示,混合比处于 0 水平以下时,干抗张力随松香质量分数加入量的增大缓慢减小,主要是由于松香的加入对纤维之间的结合影响较大;当混合比处于 0 水平以上时,干抗张力随松香质量分数的增加呈增大趋势,这是因为混合比增加,单位膜面积中木材纤维所占比例提高,干抗张力增加<sup>[21]</sup>。通过响应曲面图 1a 可知,



混合比对干抗张力的正面影响远大于松香质量分数的负面影响,最大值出现在混合比50%、松香质量分数1.4%。

混合比和矾土质量分数在其他因素为0水平时对干抗张力的影响如图1b所示,混合比处于0水平以下时,随着矾土质量分数的增大,干抗张力呈现逐渐增大趋势,当混合比处于0水平以上时,干抗张力随矾土质量分数加入量的增大缓慢减小。这是由于混合比增加,单位膜面积中木材纤维所占比例提高,矾土在湿部起到了助留作用,因此干抗张力增加<sup>[21]</sup>,而矾土的过量加入会对力产生副作用。通过响应曲面图1b可知,混合比对干抗张力的影响程度大于矾土质量分数,最大值出现在混合比50%、矾土质量分数3%。

松香质量分数和湿强剂质量分数在其他因素为0水平时对干抗张力的影响如图1c所示,当松香质量分数处于0水平以下时,干抗张力随湿强剂质量分数加入量的增大缓慢减小,这可能是由于系统中的纤维对湿强剂的吸附已经达到饱和状态;松香质量分数处于0水平以上时,干抗张力随湿强剂质量分数的增加呈增大趋势。这可能是因为松香质量分数加入量增加,施胶度增加。同时湿强剂提供阳离子电荷,对带阴离子电荷的松香有吸附和助留作用,加入的湿强剂被纤维强烈吸附后,干抗张力增加<sup>[26-27]</sup>。通过响应曲面图1c可知,湿强剂质量分数对干抗张力的影响程度大于松香质量分数,最大值出现在松香质量分数1.4%、湿强剂质量分数2.2%。



注:其他因素固定在0水平。图2~图3同。  
Note: Other factors were fixed at 0 levels. It is same in Fig.2 and Fig.3.

图1 各因素对干抗张力的影响  
Fig.1 Effects of factors on dry tensile strength

2.5.2 湿抗张力

混合比和松香质量分数在其他因素为0水平时对湿抗张力的影响如图2a所示,混合比处于0水平以下时,湿抗张力随松香质量分数加入量的增大呈缓慢下降趋势,主要是由于松香的过量加入对力产生副作用,导致力下降;当混合比处于0水平以上时,湿抗张力随松香质量分数的增加而显著增大,这是因为混合比增加,浆料中含有细小纤维增多,湿抗张力增加<sup>[28-29]</sup>。通过响应曲面图2a可知,混合比对湿抗张力的正面影响远大于松香质量分数的负面影响,最大值出现在混合比50%、松香质量分数1.4%。

松香质量分数和湿强剂质量分数在其他因素为0水平时对湿抗张力的影响如图2b所示,当松香质量分数处于0水平以下时,湿抗张力随湿强剂质量分数加入量的增大无明显变化,这可能是由于一部分湿强剂受到矾土的影响,使湿强剂作用减弱;松香质量分数处于0水平以上时,湿抗张力随湿强剂质量分数的增加而增加。这可能是由于松香质量分数加入量增加,地膜的抗水性逐渐增强。同时湿强剂提供阳离子电荷,松香带阴离子电荷,加入的湿强剂被松香强烈吸附后,地膜试样的湿抗张力增加<sup>[30-31]</sup>。通过响应曲面图2b可知,湿强剂质量分数对湿抗张力的影响程度大于松香质量分数,最大值出现在松香质量分数1.4%、湿强剂质量分数2.2%。

2.5.3 耐破度

混合比和松香质量分数在其他因素为0水平时对耐

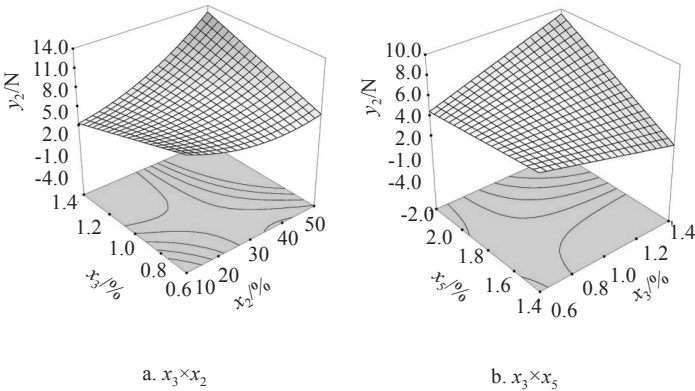


图2 各因素对湿抗张力的影响  
Fig.2 Effects of factors on wet tensile strength

破度的影响如图3a所示,混合比处于0水平以下时,耐破度随松香质量分数加入量的增大缓慢减小,主要是由于松香的加入影响纤维之间的结合力;当混合比处于0水平以上时,耐破度随松香质量分数的增加呈增大趋势,这是因为影响耐破度的2个主要因素是纤维间的结合强度和纤维长度,由于混合比增加,单位膜面积中木材纤维所占比例提高,耐破度增加<sup>[32-33]</sup>。通过响应曲面图3a可知,混合比对耐破度的影响程度大于松香质量分数,最大值出现在混合比50%、松香质量分数1.4%。

松香质量分数和矾土质量分数在其他因素为0水平时对耐破度的影响如图3b所示,矾土质量分数处于0

水平以下时,随着松香质量分数的增大,耐破度呈现逐渐增大趋势,这是由于矾土在湿部起到助留作用,因此耐破度增加<sup>[26]</sup>;当矾土质量分数处于0水平以上时,耐破度随松香质量分数加入量的增大而减小,主要是由于矾土的过量加入会阻碍纤维对湿强剂等其他助剂的吸收,而松香的吸附也已趋于饱和,故耐破度下降。通过响应曲面图3b可知,矾土质量分数对耐破度的影响程度大于松香质量分数,最大值出现在松香质量分数1.4%、矾土质量分数3%。

松香质量分数和湿强剂质量分数在其他因素为0水

平时对耐破度的影响如图3c所示,当湿强剂质量分数处于0水平以下时,耐破度随松香质量分数加入量的增大缓慢减小,这可能是由于湿强剂用量较少时,松香作用较大,随着松香加入量越来越大对指标产生了副作用;湿强剂质量分数处于0水平以上时,耐破度随松香质量分数的增加呈增大趋势。这是因为湿强剂用量超过0水平后,湿强剂的增强效果逐渐明显,耐破度增加<sup>[27]</sup>。通过响应曲面图3c可知,湿强剂质量分数对耐破度的影响程度大于松香质量分数,最大值出现在松香质量分数1.4%、湿强剂质量分数2.2%。

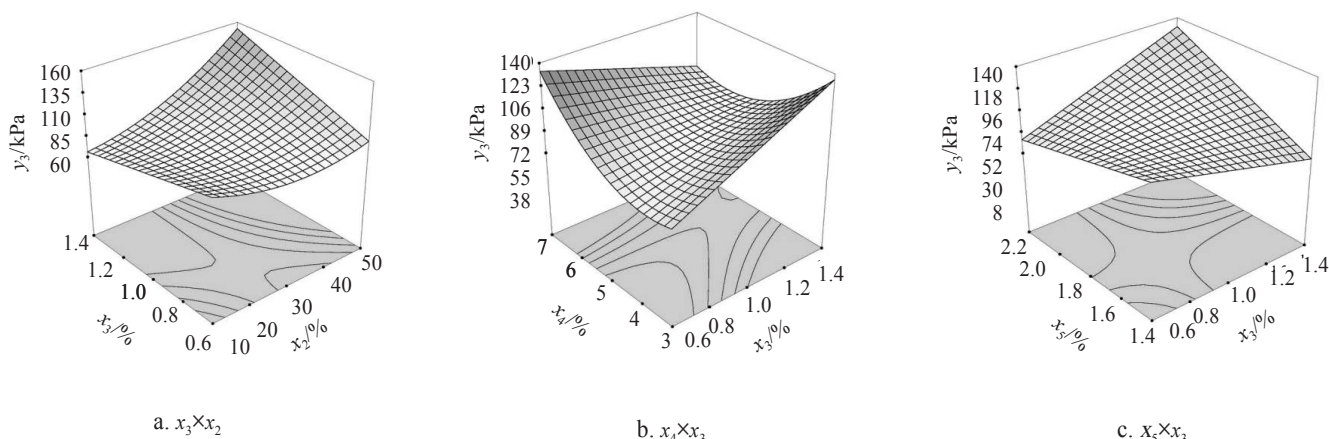
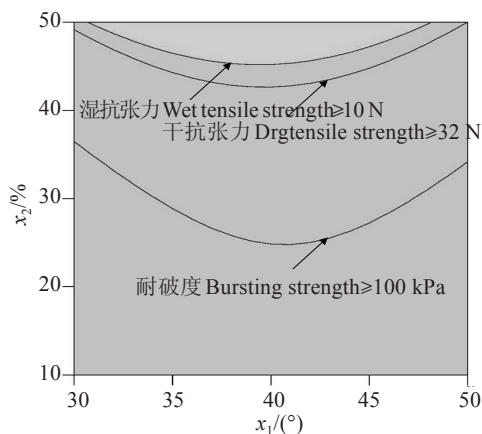


图3 各因素对耐破度的影响

Fig.3 Response surface for effects of factors on bursting strength

## 2.6 优化分析

以满足地膜田间铺设机械性能要求,即地膜机械强度符合国家标准GB13735-2017,干抗张力 $\geq 32$  N、湿抗张力 $\geq 12$  N、耐破度 $\geq 100$  kPa,并节省能源、降低成本为原则<sup>[21]</sup>,在打浆度 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 、混合比 $10\%\sim 50\%$ 、松香质量分数 $0.6\%\sim 1.4\%$ 、矾土质量分数 $3\%\sim 7\%$ 、湿强剂质量分数 $1.4\%\sim 2.2\%$ 的约束条件下,优化分析结果如图4所示。打浆度和混合比是对3个评价指标影响较显著的因素,并且考虑低定量环保型水稻秸秆纤维地膜的抄造工艺以及成本等因素,工艺参数优化组合为:打浆度 $31^{\circ}\sim 48^{\circ}$ 、混合比 $45\%\sim 50\%$ 、松香质量分数1.2%、矾土质量分数6%、湿强剂质量分数2.0%。



注:松香质量分数1.2%,矾土质量分数6%,湿强剂质量分数2.0%。  
Note: Rosin 1.2%, bauxite 6%, wet strength agent 2.0 %.

图4 工艺参数优化结果

Fig.4 Optimized result of technology parameters

## 2.7 验证试验

按最优工艺结果,打浆度选取 $40^{\circ}$ 、混合比45%、松香质量分数1.2%、矾土质量分数6%、湿强剂质量分数2.0%制造地膜试样,分别测定各项评价指标,取10次平行验证,干抗张力33.4 N、湿抗张力11.9 N、耐破度137 kPa,表明优化结果正确可信。

## 3 结论

1)各因素对干抗张力影响贡献率排序为混合比、湿强剂质量分数、矾土质量分数、打浆度、松香质量分数;对湿抗张力影响贡献率排序为混合比、湿强剂质量分数、矾土质量分数、打浆度、松香质量分数;对耐破度影响贡献率排序为混合比、矾土质量分数、湿强剂质量分数、松香质量分数、打浆度。

2)当工艺参数优化组合为打浆度 $31^{\circ}\sim 48^{\circ}$ 、混合比 $45\%\sim 50\%$ 、松香质量分数1.2%、矾土质量分数6%、湿强剂质量分数2.0%时,低定量环保型水稻秸秆纤维地膜干抗张力 $\geq 32$  N、湿抗张力 $\geq 12$  N、耐破度 $\geq 100$  kPa,可满足地膜田间覆盖的机械性能要求。以水稻秸秆为原料制造低定量环保型可降解纤维地膜是切实可行的。

## [参考文献]

- [1] 杨旭,余焱,李花粉,等. 我国与欧美化肥重金属限量标准的比较和启示[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(1):1—9.  
Yang Xu, Yu Yao, Li Huafen, et al. Comparison of heavy metal limits for chemical fertilizers in China, EU and US and enlightenments[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019, 25(1):



- 1—9. (in Chinese with English abstract)
- [2] 洪传春, 刘承, 李文华. 我国化肥投入面源污染控制政策评估[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(4): 1—6.  
Hong Chuanchun, Liu Moucheng, Li Wenhua. Evaluation on the policies of non-point pollution control of chemical fertilizer in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(4): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [3] 杨帆, 孟远夺, 姜义, 等. 2013年我国种植业化肥施用状况分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 217—225.  
Yan Fan, Meng Yuanduo, Jiang Yi, et al. Chemical fertilizer application and supply in crop farming in China in 2013[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(01): 217—225. (in Chinese with English abstract)
- [4] 张国, 逯非, 黄志刚, 等. 我国主粮作物的化学农药用量及其温室气体排放估算[J]. 应用生态学报, 2016, 27(9): 2875—2883.  
Zhang Guo, Lu Fei, Huang Zhigang, et al. Estimations of application dosage and greenhouse gas emission of chemical pesticides in staple crops in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(9): 2875—2883. (in Chinese with English abstract)
- [5] Bu Y Q, Kong Y, Zhi Y, et al. Pollution of chemical pesticides on environment and suggestion for prevention and control countermeasures[J]. Journal of Agricultural Science & Technology, 2014, 16(2): 19—25.
- [6] 卜元卿, 孔源, 智勇, 等. 化学农药对环境的污染及其防控对策建议[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(2): 19—25.  
Bu Yuanqing, Kong Yuan, Zhi Yong, et al. Pollution of chemical pesticides on environment and suggestion for prevention and control countermeasures[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2014, 16(2): 19—25. (in Chinese with English abstract)
- [7] 赵岩, 陈学庚, 温浩军, 等. 农田残膜污染治理技术研究现状与展望[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 1—14.  
Zhao Yan, Chen Xuegeng, Wen Haojun, et al. Research status and prospect of control technology for residual plastic film pollution in farmland[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6): 1—14. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王志超, 李仙岳, 史海滨, 等. 农膜残留对砂壤土和砂土水分入渗和蒸发的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(1): 198—205.  
Wang Zhichao, Li Xian Yue, Shi Haibin, et al. Effects of residual plastic film on infiltration and evaporation for sandy loam and sandy soil [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(1): 198—205. (in Chinese with English abstract)
- [9] Haruyuki Kanehiro. Plastic litter pollution in the marine environment[J]. Journal of the Mass Spectrometry Society of Japan, 1999, 47(6): 319—321.
- [10] 刘艳霞. 中国农村地膜残留污染现状及治理对策思考[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.  
Liu Yanxia. Reflections on the Pollution Status and Control Countermeasures of Plastic Film Residuals in Chinese Rural Areas[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [11] Roy P, Surekha P, Rajagopal C. Surface oxidation of low-density polyethylene films to improve their susceptibility toward environmental degradation[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 122(4): 2765—2773.
- [12] 李晖, 戴明威, 戴顺利, 等. 2010-2015年安徽省粮食作物秸秆的时空分布特征和资源评价[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(2): 282—287.  
Li Hui, Dai Mingwei, Dai Shunli, et al. A comprehensive analysis of crop straw resources in Anhui Province from 2010 to 2015[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2018, 45(2): 282—287. (in Chinese with English abstract)
- [13] Zhu K W, Liu Z, He Liangping, et al. Eco-economic potential analysis of Chinese main crops' bio-energy utilization straw resources[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(19): 3769—3785.
- [14] 何可. 农业废弃物资源化的价值评估及其生态补偿机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.  
He Ke. Research on the Ecological Compensation Mechanism and the Value Assessment of Agricultural Wastes Recycling[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [15] 崔明, 赵立欣, 田宜水, 等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 291—296.  
Cui Ming, Zhao Lixin, Tian Yishui, et al. Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(12): 291—296. (in Chinese with English abstract)
- [16] 姚永国. 扎实“一控两减三基本”促农产品提质增效[J]. 农民致富之友, 2017(10): 115—116.  
Yao Yongguo. Solid "one control, two reductions and three basics" to promote quality improvement and efficiency increase of agricultural products[J]. Nong Min Zhi Fu Zhi You, 2017(10): 115—116. (in Chinese with English abstract)
- [17] 刘宪. 实现“一控两减三基本”农机化大有可为[J]. 农机质量与监督, 2015(5): 44.  
Liu Xian. Implementing "one control, two reductions and three basics" agricultural mechanization has great potential[J]. Quality and Supervision of Agricultural Machinery, 2015(5): 44. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张美云, 胡开堂, 平清伟, 等. 加工纸与特种纸[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011.
- [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] 杨金玲, 陈海涛. 水稻栽培用纸及应用[J]. 黑龙江造纸, 2009(4): 27—29.  
Yang Jinling, Chen Haitao. Paper and application of rice cultivation[J]. Heilongjiang Pulp & Paper, 2009(4): 27—29. (in Chinese with English abstract)
- [21] 石淑兰, 何福望. 制浆造纸分析与检测[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2004: 13—84.

- [22] 方丽娜. 丝棉非织造布农用地膜的研制与性能研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2006.
- Fang Lina. Develop and Performance Research about the Agricultural Soil-film of Non-woven Cloth with Cotton and Silk[D]. He-fei: Anhui Agriculture University, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [23] 程飞, 甄文娟, 潘鹏, 等. 功能纤维素材料研究[J]. 皮革科学与工程, 2009, 19(1): 27—31.
- Cheng Fei, Zhen Wenjuan, Pan Peng, et al. Review of function materials based on cellulose[J]. Leather Science and Engineering, 2009, 19(1): 27—31. (in Chinese with English abstract)
- [24] 轻工行业标准编辑出版委员会造纸工业测试方法标准汇编[M]. 北京: 技术标准出版社, 1990.
- [25] 徐仲儒. 试验回归设计[M]. 黑龙江: 黑龙江科技出版社, 1998.
- [26] 陈海涛, 明向兰, 刘爽, 等. 废旧棉与水稻秸秆纤维混合地膜制造工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 292—300.
- Chen Haitao, Ming Xianglan, Liu Shuang, et al. Optimization of technical parameters for making mulch from waste cotton and rice straw fiber[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(13): 292—300. (in Chinese with English abstract)
- [27] 刘丽雪. 旱作沼渣纤维地膜制造工艺及性能试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- Liu Lixue. Experimental Study on Manufacturing Technology and Performance of Biogas Residue Mulching for Dry Farming[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [28] 杨开吉, 苏文强, 沈静. 造纸湿强剂的作用机理及进展[J]. 造纸科学与技术, 2006, 25(2): 58—62.
- Yang Kaiji, Su Wenqiang, Shen Jing. Mechanism and progress of wet strength agent for paper making[J]. Paper Science & Technology, 2006, 25(2): 58—62. (in Chinese with English abstract)
- [29] Chen Hongrui, Chen Haitao, Liu Shuang, et al. Effect of plasticizers on properties of rice straw fiber film[J]. Journal of Northeast Agricultural University English Edition, 2014, 21(4): 67—72.
- [30] 陈海涛, 竹筱歆, 刘爽. 水稻秸秆纤维基绿色地膜制造工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(7): 271—279.
- Chen Haitao, Zhu Xiaoxin, Liu Shuang. Optimization of technical parameters for rice straw fiber-based mulch[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(7): 271—279. (in Chinese with English abstract)
- [31] 张鸿超. 秸秆纤维地膜覆盖栽培对土壤环境和作物生长发育的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- Zhang Hongchao. Influence of Straw Film Mulching on Soil Environment and Crop Growth and Development[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [32] 刘环宇, 陈海涛, 闵诗尧, 等. 基于 PSO-SVR 的植物纤维地膜抗张强度预测研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(04): 118—124.
- Liu Huanyu, Chen Haitao, Min Shiyao, et al. Tensile strength prediction for plant fiber mulch based on PSO-SVR[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4): 118—124. (in Chinese with English abstract)
- [33] 鲁珊. 全生物降解膜对吐鲁番地区杏树生长及土壤理化性的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2016.
- Lu Shan. Effects of Full Biodegradable Mulch Film on Growth of The Prunus Armeniaca L. and the Physical and Chemical Properties of Soil in the Turpan[D]. Urumqi: Xinjiang Normal University, 2016. (in Chinese with English abstract)

## Optimization of technical parameters for making light-basis-weight and environment-friendly rice straw fiber film

Ming Xianglan<sup>1</sup>, Chen Haitao<sup>2\*</sup>, Wei Zhipeng<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China;

2. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In order to provide theoretical basis and technical support for the production of biodegradable fiber mulch film, which can meet the requirements of organic cultivation of crops, experiments were conducted using rice straw fiber as raw material, with the clean pulping and papermaking process, and adding commercial pulp and functional additives to analyze the optimal combination of process parameters for the preparation of the manufacturing 55g/m<sup>2</sup> light-basis-weight and environment-friendly degradable rice straw fiber film. The optimization of the technological parameters effect on the mulching was studied by the method of the central composite quadratic orthogonal rotational optimizing experiment. Beating degree, ratio, rosin, bauxite, and wet strength agent were selected as input variables, and dry tensile strength, wet tensile strength, and bursting strength were used as response functions. Experimental results indicated that: 1) According to the response surface diagram, the positive effect of ratio on dry tensile strength and wet tensile strength was higher than that of rosin, the effect of ratio on dry tensile strength and wet tensile strength was higher than that of bauxite, and the effect of wet strength agent on dry tensile strength and wet tensile strength was higher than that of rosin. Therefore, the order of contribution rate of each factor to dry tensile strength and wet tensile strength were ratio, wet strength agent, bauxite, beating degree, and rosin. 2) The effect of ratio on bursting strength was higher than that of rosin, the effect of bauxite on bursting strength was higher than that of rosin, and the effect of wet strength agent on bursting strength was higher than that of rosin. Therefore, the order of contribution rate of each factor to bursting strength was ratio, bauxite, wet strength agent, rosin, and beating degree. 3) An optimum technology parameters of 55 g/m<sup>2</sup> light-basis-weight and environment-friendly degradable rice straw fiber film was beating degree 31°~48°SR, ratio 45%~50%, rosin 1.2%, bauxite 6%, and wet strength agent 2.0%, in this case, dry tensile strength of 55g/m<sup>2</sup> light-basis-weight and environment-friendly degradable rice straw fiber film was higher than 32 N, wet tensile strength higher than 12 N, and bursting strength higher than 100 kPa, and the film met the mechanical property requirements for field mulching. 4) Manufacturing film samples were accorded to the optimal process results, that were beating degree 40°, mixing ratio 45%, rosin 1.2%, bauxite 6%, and wet strength agent 2.0%. Evaluation indicators were separately determined and taken 10 parallel verifications. Experimental results indicated that the dry tensile strength was 33.4 N, the wet tensile strength was 11.9 N and the bursting strength was 137 kPa. The results were correct and credible. According to the standard of tensile strength and bursting strength, manufacturing 55g/m<sup>2</sup> light-basis-weight and environment-friendly degradable rice straw fiber film was feasible.

**Keywords:** rice; straw; fiber; film; central composite quadratic orthogonal rotational optimizing experiment; mechanical strength