

# 酒糟型生物有机肥初始酵解条件对木质纤维降解的影响

喻夜兰, 刘强\*, 荣湘民, 谢桂先, 彭建伟, 曾晶, 宋海星, 张玉平

(湖南农业大学资源环境学院, 湖南长沙 410128)

**摘要:** 木质纤维是有机物料堆肥化过程最难降解的物质,影响着堆肥化进程。提高木质纤维降解,有利于促进堆肥的快速腐熟,提高堆肥质量。试验应用二次通用回归旋转组合设计四因素(1/2 实施)方案,研究酒糟型生物有机肥堆制初始条件对总碳、木质纤维降解的影响,旨在为木质纤维高效快速降解提供理论依据。结果表明,在本试验条件下,秸糟比对总碳、半纤维素的影响作用最大;含水率对纤维素、木质素的影响作用最大。实现总碳等较好降解效果各因子配比方案范围为:pH 值 6.63~7.02,接种量 0.49%~0.551%、含水量 65.52%~66.68%、秸糟比 41.61%~44.32%。

**关键词:** 酒糟型生物有机肥; 酵解条件; 木质纤维; 降解

**中图分类号:** S141.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1008-505X(2010)03-0725-07

## Effects of initial composting conditions on lignocellulosic degradation of brewer's spent grains-based bio-organic fertilizer

YU Ye-lan, LIU Qiang\*, RONG Xiang-min, XIE Gui-xian, PENG Jian-wei,

ZENG Jing, SONG Hai-xing, ZHANG Yu-ping

(College of Resource and Environment Science; Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Lignocellulosic is one of the most difficult degradable substances during organic composting process. Enhancing degradation of lignocellulosic is beneficial to promote the rapid decomposition of compost and improve the quality of compost. An experiment was conducted to study the effects of original zymolytic condition of brewer's spent grains-based bio-organic fertilizer on degradation of total carbon and lignocellulosic by using the quadratic uniform-precision rotatable central composite design including four factors and five levels. The results show that the influence of ratios of straw to lees is important for the degradation of total carbon and hemicellulose, and the influence of water content is important for the degradation of cellulose and lignin. The best conditions for the degradations are that pH value is 6.63 - 7.02, inoculation fungal biomass is 0.49% - 0.551%, water content is 65.52% - 66.68%, and ratios of straw to lees is 41.61% - 44.32%.

**Key words:** brewer's spent grains-based bio-organic fertilizer; initial zymolytic condition; lignocellulosic; degradation

当前,解决酿酒过程的副产物酒糟已成为一个十分突出的问题<sup>[1]</sup>。酒糟营养物质丰富,但酸度、含水率高,不易储存,易腐败变质,若不及时处理,易污染环境。中国有较多将酒糟变废为宝综合利用的研究,如将酒糟发酵生产饲料<sup>[2-3]</sup>、提取蛋白质<sup>[4]</sup>、提取膳食

纤维<sup>[5]</sup>、生产乙醇<sup>[6]</sup>等。但将酒糟发酵成生物有机肥的研究不多。酒糟中速效养分含量高,潜在养分供给时间长,同时酒糟中含有多种生长类物质,对农作物生长有刺激作用,将酒糟酵解堆制成生物有机肥具有较大的潜力。酒糟中木质纤维含量丰富,在碳循环中

收稿日期: 2009-06-11      接受日期: 2009-10-23

基金项目: 国家科技部科技支持计划项目(2007BAD87B11, 2008BADA7B07); 湖南省科技厅重点项目(2006NK2001), 一般项目(2008SK4051, 2007NK3093); 湖南省教育厅重点项目(07A028)资助。

作者简介: 喻夜兰(1978—),女,湖南岳阳人,博士研究生,讲师,主要从事植物营养生态研究。E-mail: yy178@hunau.net

\* 通讯作者 Tel: 0731-4618053, E-mail: lq8053@hunau.net

起着重要的作用<sup>[7-9]</sup>,但木质纤维是有机物料堆肥过程中最难降解的一类大分子物质,影响堆制的进程,所以研究堆肥化中木质纤维的降解具有很高的现实意义<sup>[10-11]</sup>。目前,国内外对堆肥中纤维素的降解主要集中在分解纤维素菌的筛选,前处理对木质纤维降解的影响等,而初始的堆制条件对木质纤维降解影响的综合分析研究较少。本试验旨在研究堆制酒糟型生物有机肥不同初始条件对木质纤维降解的影响,为加快木质纤维降解提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

试验于2006年5月至2006年12月在湖南农业

大学农业资源与环境植物营养实验室进行。供试酒糟购自湖南华狮啤酒有限公司的鲜酒糟经晒干而成的干糟,全碳含量487.14 g/kg、全氮33.10 g/kg、碳、氮比为14.72。酵解填充物为水稻秸秆,采自湖南农业大学试验基地,全碳含量472.76 g/kg、全氮8.44 g/kg、碳、氮比为55.98。供试微生物菌剂为本实验室培养的B15复合菌剂,有效活性菌数为 $1.2 \times 10^9$ 个/mL。

试验采用四元二次通用旋转设计(1/2实施)方案。以pH值、含水率、接种量、秸糟比为参试因子,每个因子设5个水平,共20个处理,每处理重复3次。各因子水平及编码值见表1。

表1 因子设计水平及线性编码  
Table 1 Levels and coding of factors

因素 Factor	间距 Interval	设计水平 Design level				
		-1.68	-1	0	1	1.68
pH值 $X_1$ pH value	1	5.318	6	7	8	8.68
接种量 $X_2$ Inoculation fungal biomass (%)	0.2	0.164	0.3	0.5	0.7	0.84
含水率 $X_3$ Moisture content (%)	6	54.91	59	65	71	75.1
秸糟比 $X_4$ Ratios of straw to lees (%)	8	27.55	33	41	49	54.5

2006年5月1日开始堆肥,5月28日结束,堆制时间为28 d。堆制时按照表2的方案,将酒糟与秸秆按一定的比例混合,加水调节含水率,接种一定量的微生物菌剂,搅拌均匀后,装入底面半径为0.19 m、高为0.2 m、容积为4 L的塑料桶中,每桶装料1.5 kg。试验每4 d翻堆1次,同时取样,每次取样约60 g。样品于105℃烘干粉碎过0.85 mm筛,测定全C、木质素、纤维素、半纤维素含量。

### 1.2 分析测定及计算方法

全碳含量用石蜡油-重铬酸钾氧化法测定<sup>[12]</sup>;木质素、纤维素、半纤维素含量用中性洗涤剂法测定<sup>[13]</sup>。

每次取样都会有碳、木质纤维等被带离试验,因此计算降解率时必须考虑被带离的损失,计算式如下:

$$R_i = S_i / T_i$$

R表示降解率;S表示总损失量,是每阶段*i*降解量之和;T表示总量,是堆肥开始的初始*i*量与取样带离的*i*量之差;*i*代表总碳、纤维素、半纤维素或木质素。

试验数据分析处理及建模运用SAS8.0统计软件进行分析<sup>[14]</sup>;试验图表运用Matlab7.0图表软件制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 模型的建立和检验

总碳、木质纤维降解率计算结果见表2。根据二次通用回归设计原理,以总碳、纤维素、半纤维素、木质素的降解率作为目标函数(因变量*y*),以pH值、接种量、含水量和秸糟比为自变量( $X_i$ ),采用SAS软件计算<sup>[15]</sup>,建立了降解率与4个试验因子编码值的回归数学模型(表3)。

为了明确回归模型是否有意义,对失拟平方和进行*F*检验。分析结果表明,4个模型的失拟项*F*值分别为0.72、2.13、1.41和0.37,远远小于0.01水准下的*F*值(28.24),说明失拟项不显著,不存在其它不可忽视的因素对试验结果产生影响,模型可以通过。进一步对回归进行检验,进行显著性检验,4个模型的回归项*F*值分别为:7.44、10.36、5.20和9.37,半纤维素的方程模型回归关系显著( $F > F_{0.05}$ ),总碳、纤维素、木质素模型的回归关系极显著( $F > F_{0.01}$ ),说明所建立的4个二次回归模型在 $\alpha = 0.05$ 水平下均显著,模型拟合程度高,能反映酒糟型有机肥不同的堆制初始水平对总碳和木质纤维降解率的影响。

表 2 试验结构矩阵及木质纤维降解结果

Table 2 Experiment design and the lignocellulosic degradation results

处理号 Treatment No.	方案 Scheme code				降解率 Degradation rate(%)			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	总碳 Total carbon	纤维素 Cellulose	半纤维素 Hemicellulose	木质素 Lignin
1	1	1	1	1	34.89	45.11	49.15	34.68
2	1	1	-1	-1	30.35	25.84	44.63	25.17
3	1	-1	1	-1	24.24	29.4	37.96	25.36
4	1	-1	-1	1	25.84	27.49	39.53	27.71
5	-1	1	1	-1	25.96	41.23	42.68	28.78
6	-1	1	-1	1	23.03	35.17	45.33	24.54
7	-1	-1	1	1	30.66	36.33	49.38	28.67
8	-1	-1	-1	-1	24.20	34.51	40.5	26.45
9	-1.682	0	0	0	25.64	34.43	47.39	25.42
10	1.682	0	0	0	28.54	34.04	39.23	29.27
11	0	-1.682	0	0	24.52	22.81	36.93	24.19
12	0	1.682	0	0	27.96	30.34	44.24	27.79
13	0	0	-1.682	0	24.93	34.72	37.38	20.8
14	0	0	1.682	0	26.51	41.97	44.52	26.1
15	0	0	0	-1.682	18.58	34.05	40.08	26.82
16	0	0	0	1.682	27.49	44.55	50.59	28.66
17	0	0	0	0	20.02	34.38	43.1	23.32
18	0	0	0	0	22.65	35.45	47.03	26.28
19	0	0	0	0	21.87	36.77	44.94	24.32
20	0	0	0	0	23.73	32.65	41.2	22.67

表 3 降解率与 4 个试验因子 (pH 值、接种量、含水量和秸糟比) 编码值的回归方程

Table 3 Regression equation between degradation rates and four code values (pH value, inoculation fungal biomass, moisture content, ratios of straw to lees)

序号 No.	回归数学模型 Mathematical Regression Models
1	$\hat{y}_{\text{总碳}} = 21.8267 + 1.4159X_1 + 1.3222X_2 + 1.3163X_3 + 2.0265X_4 + 1.8561X_1^2 + 1.5552X_2^2 + 1.3715X_3^2 + 0.4220X_4^2 + 2.2530X_1X_2 - 1.1817X_1X_3 - 0.0483X_1X_4 + 2.2530X_3X_4 - 1.1817X_2X_4 - 0.0483X_2X_3$
2	$\hat{y}_{\text{纤维素}} = 34.8488 - 1.4686X_1 + 2.3639X_2 + 3.0207X_3 + 2.2537X_4 - 0.2389X_1^2 - 2.94710X_2^2 + 1.2142X_3^2 + 1.5518X_4^2 + 1.0625X_1X_2 + 1.6625X_1X_3 + 2.7000X_1X_4 + 1.0625X_3X_4 + 1.6625X_2X_4 + 2.7000X_2X_3$
3	$\hat{y}_{\text{半纤维}} = 43.6387 - 1.4896X_1 + 1.9561X_2 + 1.5515X_3 + 2.5845X_4 + 0.1426X_1^2 - 0.8208X_2^2 - 0.6918X_3^2 + 0.8586X_4^2 + 2.2700X_1X_2 - 0.4100X_1X_3 - 0.6800X_1X_4 + 2.2700X_3X_4 - 0.4100X_2X_4 - 0.6800X_2X_3$
4	$\hat{y}_{\text{木质素}} = 23.9698 + 0.8022X_1 + 0.8080X_2 + 1.6499X_3 + 0.9471X_4 + 1.3006X_1^2 + 0.8215X_2^2 - 0.0765X_3^2 + 1.4402X_4^2 + 1.0725X_1X_2 + 0.0875X_1X_3 + 1.735X_1X_4 + 1.0725X_3X_4 + 0.0875X_2X_4 + 1.735X_2X_3$

## 2.2 数学模型的解析

2.2.1 主因子效应 经过无量纲线性编码代换后的偏回归系数( $b_i$ )已经标准化,其正负号表示因素的作用方向,其 $|b_i|$ 大小可直接反映变量 $X_i$ 对碳素降解率的影响程度<sup>[16]</sup>。从偏回归系数显著性检验表(表 4)中可以看出,一次项回归系数中,各个因子对总碳、木质纤维降解率的影响达到了显著水平或极显著水平;试验的 4 个因子中含水量对纤维素、木质素的影响最大,秸糟比对总碳和半纤维素的

影响最大。水分是影响微生物活动的关键因素,水分适宜利于微生物生长,对木质素、纤维素的降解有促进作用;半纤维素具有一定的亲水性能,4 个因子中含水率对其影响不是最大的,碳、氮比对其降解影响大,酒糟氮素含量高,碳、氮比低,秸秆氮素含量低,碳素比高,两者混合不同,混合物的碳、氮比不同,因此,秸糟比影响半纤维素的降解。

2.2.2 单因素效应分析 对 4 个模型采用降维法,每个模型中将其他 3 个因子假定在零水平得到每个

表4 偏回归系数差异显著性检验

Table 4 Significant test of difference of partial regression coefficient

变异原因 Dependent source		总碳 Total carbon		纤维素 Cellulose		半纤维素 Hemicellulose		木质素 Lignin	
		F 值	p 值	F 值	p 值	F 值	p 值	F 值	p 值
		F value	p-value	F value	p value	F value	p value	F value	p value
一次项 Linear	X <sub>1</sub>	5.1152	0.0536	3.5506	0.0963	3.7178	0.0900	3.6398	0.4734
	X <sub>2</sub>	4.4608	0.0677	9.2000	0.0162	6.4108	0.0351	3.6929	0.5414
	X <sub>3</sub>	4.4214	0.0686	15.0219	0.0047	4.0329	0.0795	15.3999	0.0117
	X <sub>4</sub>	10.4792	0.0119	8.3622	0.0201	11.1913	0.0102	5.0741	0.0777
二次项 Quadratic	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	9.1635	0.0164	0.0980	0.7623	0.0355	0.8552	9.9738	0.0430
	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	6.4334	0.0349	14.9057	0.0048	1.1767	0.3096	3.9793	0.1309
	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	5.0031	0.0557	2.5301	0.1504	0.8358	0.3873	0.0345	0.9399
	X <sub>4</sub> <sup>2</sup>	0.4736	0.5108	4.1329	0.0765	1.2875	0.2894	12.2307	0.0298
交互项 Crossproduct	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	7.5871	0.0249	1.0887	0.3273	5.0574	0.0547	3.8115	0.0810
	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	2.0871	0.1865	2.6655	0.1412	0.1650	0.6953	0.0254	0.7715
	X <sub>1</sub> X <sub>4</sub>	0.0035	0.9544	7.0305	0.0292	0.4538	0.5195	9.9747	0.1272
	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	7.5871	0.0249	1.0887	0.3273	5.0574	0.0547	3.8115	0.0810
	X <sub>2</sub> X <sub>4</sub>	2.0871	0.1865	2.6655	0.1412	0.1650	0.6953	0.0254	0.7715
X <sub>3</sub> X <sub>4</sub>	0.0035	0.9544	7.0305	0.0292	0.4538	0.5195	9.9747	0.1272	

因子作用效应的子模型。根据子模型可以推算出自变量  $X_i$  与目标函数  $Y$  的关系,绘制出单因素效应图。从图1~图4中可知,在因子编码  $-1.68 \sim 1.68$  范围内,pH对纤维素、半纤维素降解影响的作用方向是负向的,随着pH值的增大,纤维素、半纤维素降解率下降。pH对木质素降解影响的作用方向在  $-1.68 \sim -0.38$  间是负向的,在  $-0.38 \sim 1.68$  间是正向的;pH对总碳降解影响的作用方向在  $-1.68 \sim -0.31$  间是负向的,在  $-0.31 \sim 1.68$  间是正向的;秸糟比在  $-1.68 \sim 1.68$  范围内对木质纤维降解的影响作用是先减小后增强的,对总碳影响的作用方向是正向的,随着秸糟比值的增大而增大。

含水量在  $-1.68 \sim 1.68$  范围内对木质纤维影响的作用方向是正向的,随着含水量的增大而增大,对总碳的影响作用是先减小后增强的;接种量对纤维素、半纤维素降解影响的作用是先增加后减弱的,对木质素、总碳的影响是减小后增强的。

2.2.3 交互作用效应分析 由于试验因子之间存在着大小、正负不同的互作效应,因此除了作单因素分析外,还需要分析因子间的交互效应。根据回归系数  $F$  检验结果,对总碳、木质素和半纤维素,除pH值和接种量( $X_1X_2$ )、含水量和秸糟比( $X_3X_4$ )的交互作用显著外,其余均未达到显著水平;对纤维素,除pH值和秸糟比( $X_1X_4$ )、含水量和接种量( $X_2X_3$ )的

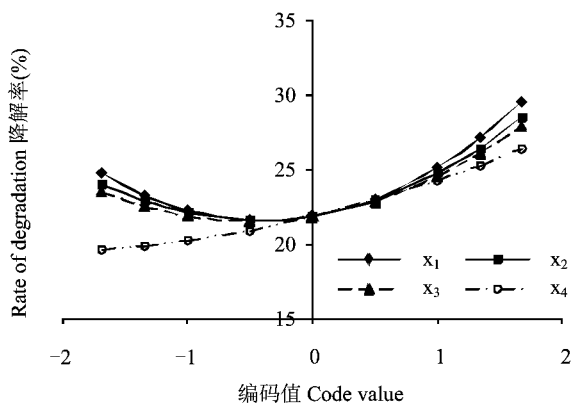


图1 总碳降解率单因素效应分析图

Fig.1 Single factor effect analysis of total carbon degradation

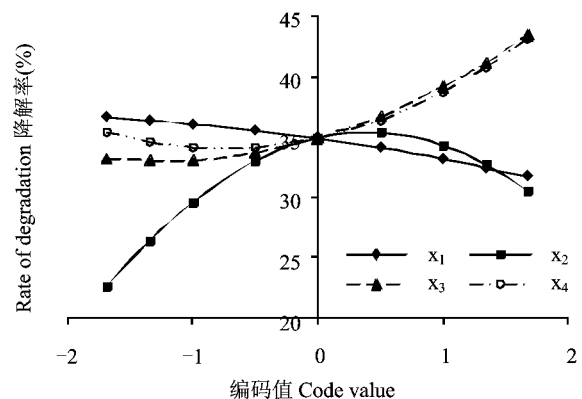


图2 纤维素降解率单因素效应分析图

Fig.2 Single factor effect analysis of cellulose degradation

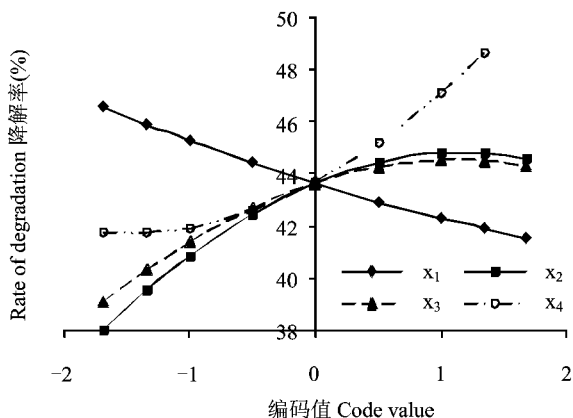


图 3 半纤维素降解率单因素效应分析图

Fig.3 Single factor effect analysis of hemicellulose degradation

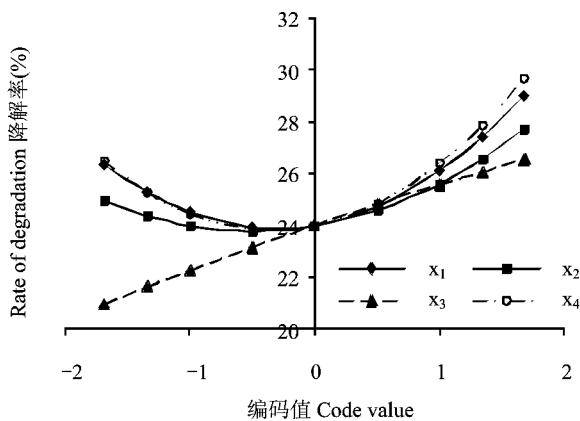


图 4 木质素降解率单因素效应分析图

Fig.4 Single factor effect analysis of lignin degradation

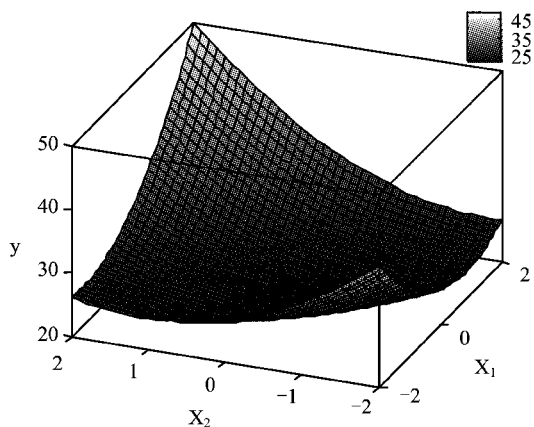


图 5 pH 值( $X_1$ )和接种量( $X_2$ )对总碳降解的互作效应

Fig.5 Interaction effect of pH value and inoculation fungal biomass on degradation of total carbon

交互作用显著外,其余均未达到显著水平。pH 值和接种量( $X_1X_2$ )两个因子的交互作用在各个模型中都较大,这里仅分析这两个因子交互作用对总碳和木质纤维降解的影响。将含水量和秸糟比两个因子假定在零水平对模型进行降维,得到的回归方程做三维图。从三维曲面图(图 5~图 8)看出,曲面上各点的高度代表两个因子一定水平组合时的降解率,曲面越高,降解越多。pH 值和接种量( $X_1X_2$ )两个因子的交互作用对总碳、半纤维素和木质素的作用类似,当 pH 值、接种量一个较小一个较大时,降解率较小,当 pH 值、接种量都较小或都较大时,降解率较大;对纤维素的作用,不论 pH 值多少,接种量编码值接近 0 时,降解率较大,接种量较大或较小时,降解率都不高。

### 2.3 数学模型寻优

根据已建立的数学模型 1~4,在  $-1.68 \sim 1.68$  的因子空间约束范围内,以 0.2 为步长,用计算机对试验 83541 个配比方案进行寻优比较。总碳降解率高于平均值 25.58% 的方案共有 44970 个,纤维素降解率高于平均值 34.56% 的方案共有 39127 个,半纤维素降解率高于平均值 43.29% 的方案共有 40019 个,木质素降解率高于平均值 26.35% 的方案共有 45253 个。采用频率分析法得出在本试验条件下,最佳的总碳、木质纤维在 95% 置信区间各因子优化配比方案(表 5)。综合总碳、木质纤维的最优配比方案的范围为: pH 值 6.63~7.02, 接种量 0.49%~ 0.551%、

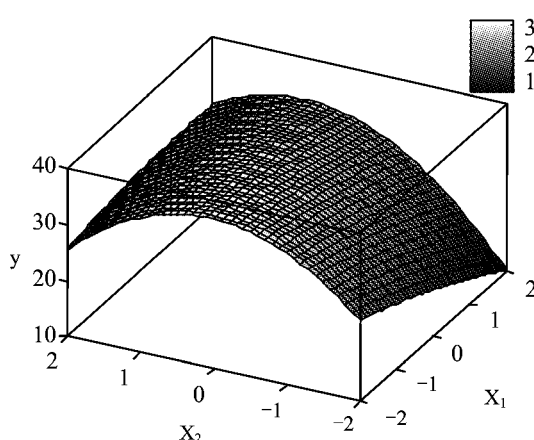


图 6 pH 值( $X_1$ )和接种量( $X_2$ )对纤维素降解的互作效应

Fig.6 Interaction effect of pH value and inoculation fungal biomass on degradation of cellulose

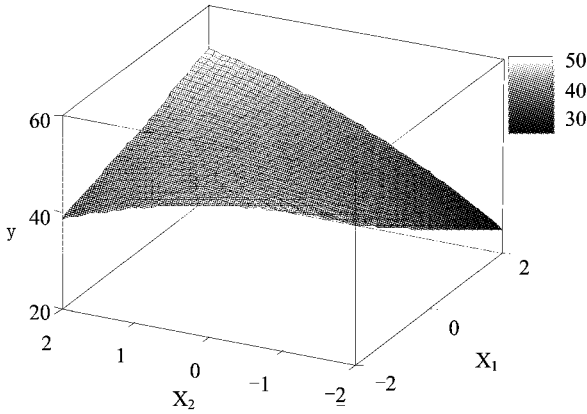


图7 pH值( $X_1$ )和接种量( $X_2$ )对半纤维素降解的互作效应

Fig.7 Interaction effect of pH value and inoculation fungal biomass on degradation of hemicellulose

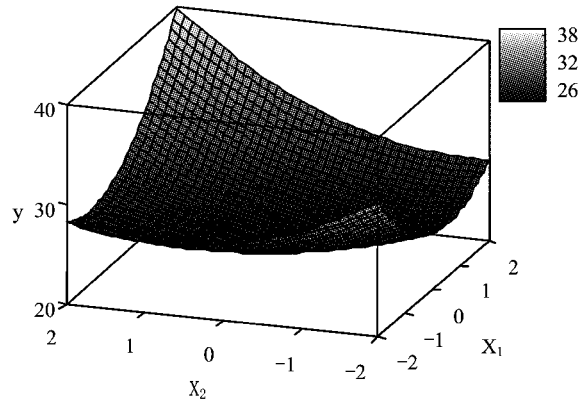


图8 pH值( $X_1$ )和接种量( $X_2$ )对木质素降解的互作效应

Fig.8 Interaction effect of pH value and inoculation fungal biomass on degradation of lignin

表5 总碳、木质纤维大于其平均值的配比方案

Table 5 Cooperation plan when total carbon and lignocellulosic surpass average

项目 Items		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
总碳 Total carbon ( $\geq 25.58\%$ )	加权均数 Weighted mean	0.0116	-0.0188	0.0971	0.2787
	标准差 Mean ariance	0.0051	0.0050	0.0050	0.0045
	95%置信区间	0.00166 ~	-0.0286 ~	0.0872 ~	0.2698 ~
	95% Confidence interal	0.0215	-0.0091	0.1069	0.2876
最优化配比方案 Optimal program		7.00 ~-7.02	0.49 ~-0.50	65.52 ~-65.64	43.16 ~-43.30
纤维素 Cellulose ( $\geq 34.56\%$ )	加权均数 Weighted mean	-0.3566	0.2208	0.2698	0.1807
	标准差 Mean ariance	0.0048	0.0038	0.0049	0.0052
	95%置信区间	-0.3661 ~	0.2134 ~	0.2602 ~	0.1706 ~
	95% Confidence interal	-0.3471	0.2283	0.2794	0.1908
最优化配比方案 Optimal program		6.63 ~-6.65	0.54 ~-0.55	66.56 ~-66.68	42.36 ~-42.53
半纤维素 Hemicellulose ( $\geq 43.29\%$ )	加权均数 Weighted mean	-0.3106	0.2065	0.2401	0.4067
	标准差 Mean ariance	0.0049	0.0046	0.0044	0.0044
	95%置信区间	-0.3203 ~	0.1975 ~	0.2316 ~	0.3981 ~
	95% Confidence interal	-0.3009	0.2155	0.2487	0.4153
最优化配比方案 Optimal program		6.68 ~-6.70	0.54 ~-0.54	66.39 ~-66.49	44.18 ~-44.32
木质素 Lignin ( $\geq 26.35\%$ )	加权均数 Weighted mean	-0.0361	-0.0289	0.2241	0.0859
	标准差 Mean ariance	0.0052	0.0049	0.0043	0.0052
	95%置信区间	-0.0462 ~	-0.0384 ~	0.2156 ~	0.0757 ~
	95% Confidence interal	-0.0259	-0.0193	0.2325	0.0961
最优化配比方案 Optimal program		6.95 ~-6.97	0.49 ~-0.50	66.29 ~-66.39	41.61 ~-41.77

含水量 65.52% ~ 66.68%、秸糟比 41.61% ~ 44.32%。

### 3 小结

1)在本试验条件下,4个模型的失拟均不显著,方程回归检验均显著,说明4个模型是有效的。

2)单因子作用的影响表明,一次项回归系数显示各个因子对总碳、木质纤维降解率的影响达到了

显著水平或极显著水平;试验的4个因子中含水量对纤维素、木质素的影响最大,秸糟比对总碳和半纤维素的影响最大。在-1.68 ~1.68编码范围内,随pH值的增大,纤维素、半纤维素降解率下降,总碳、木质素降解率先减小后增大;随秸糟比值的增大,总碳降解率增大,纤维素、半纤维素、木质素降解率先减小后增大;随含水量的增大,总碳降解率先减小后增大,纤维素、半纤维素、木质素降解率增大;

随接种量的增大,纤维素、半纤维素降解先增加后减弱,木质素、总碳先减小后增强。

3)4个因子间存在交互作用看出,pH值和接种量比( $X_1X_2$ )、含水量和秸糟比( $X_3X_4$ )的交互作用对总碳、木质素和半纤维素降解作用影响显著;pH值和秸糟比( $X_1X_4$ )、含水量和接种量( $X_2X_3$ )的交互作用对纤维素降解作用影响显著。

4)根据最优配比方案分析,在本试验条件下,要实现总碳、木质纤维获得较好降解效果,其配比方案范围为:pH值6.63~7.02,接种量0.49%~0.55%、含水量65.52%~66.68%、秸糟比41.61%~44.32%。

### 参 考 文 献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴—2007年[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.  
National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook—2007 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [2] 李政一, 周定, 侯文华. 酒糟资源化研究[J]. 环境科学学报, 2000, 20(S9): 147-149.  
Li Z Y, Zhou D, Hou W H. Studies on the resource recovery technique of distillers' grains[J]. Acta Sci. Circums., 2000, 20(S9): 147-149.
- [3] 曾莹, 杨明. 发酵啤酒糟产饲用木聚糖酶的基质条件及其酶学性质研究[J]. 中国酿造, 2006, 162(9): 12-15.  
Zeng Y, Yang M. Studies on medium conditions for feed xylanase production by brewer's grains fermentation and enzyme properties of xylanase[J]. China Brew., 2006, 162(9): 12-15.
- [4] 李志东, 李娜, 魏丽. 醇-碱法提取啤酒糟中蛋白质[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版), 2008, 29(1): 19-21.  
Li Z D, Li N, Wei L. Studies on extraction of protein from brewer's spent grain by alcohol-alkali method [J]. J. Qingdao Univ. Sci. Tech. (Nat. Sci. Ed.), 2008, 29 (1): 19-21.
- [5] 王异静, 吴会丽. 酒糟中提取水溶性膳食纤维的研究[J]. 酿酒, 2007, 34(3): 96-99.  
Wang Y J, Wu H L. Study on the extraction of soluble dietary fiber from brewer's spent grains[J]. Liquor Mak., 2007, 34(3): 96-99.
- [6] 宋安东, 张建威, 吴云汉, 等. 利用酒糟生物质发酵生产燃料乙醇的试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 278-281.  
Song A D, Zhang J W, Wu Y H et al. Fuel ethanol production by distiller biomass fermentation [J]. Trans. CSAE, 2003, 19(4): 278-281.
- [7] 席北斗, 刘鸿亮, 白庆中, 等. 堆肥中纤维素和木质素的生物降解研究现状[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, (3): 19-23.  
Xi B D, Liu H L, Bai Q Z et al. Study on current status of lignin and cellulose biodegradation in composting process[J]. Tech. Equip. Environ. Poll. Contr., 2002, (3): 19-23.
- [8] Pérez J, Muñoz-Dorado J, de la Rubia T et al. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin [J]. Inter. Microbiol., 2002, 5: 53-63.
- [9] 黄丹莲, 曾光明, 黄国和, 等. 白腐菌固态发酵条件最优化及其降解植物生物质的研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25 (2): 232-237.  
Huang D L, Zeng G M, Huang G H et al. Optimum conditions of solid-state fermentation for white-rot fungi and for its degrading straw [J]. Acta Sci. Circums., 2005, 25 (2): 232-237.
- [10] Tuomela M, Vikman M, Hatakka A et al. Biodegradation of lignin in a compost environment[J]. Bioresour. Tech., 2000, 72: 169-183.
- [11] Tengerdy R P, Szakaes G. Bioconversion of lignocellulose in solid substrate fermentation[J]. Biochem. Engin. J., 2003, 13: 169-179.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 432-437.  
Bao S D. Analysis of soil and agrochemicals [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. 432-437.
- [13] 王玉万, 徐文玉. 木质纤维素固体基质发酵物中半纤维素、纤维素和木质素的定量分析程序[J]. 微生物学通报, 1987, 14 (2): 81-84.  
Wang Y W, Xu W Y. Quantitative analysis program of hemicelluloses, cellulose and lignin on the lignocellulose of solid leavening [J]. Microbiol., 1987, 14(2): 81-84.
- [14] 童成立, 贺喜全. 农业试验中正交旋转回归设计分析模型[J]. 计算机与农业, 2000, (10): 16-20.  
Tong C L, Ke X Q. Analysis model of Quadratic Orthogonal rotating and regressive on agricultural research [J]. Comp. Agric., 2002, (10): 16-20.
- [15] 王文亮, 薛高峰, 孙清斌, 等. Mn与N、K配施对冬小麦子粒中氨基酸含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 373-380.  
Wang W L, Xue G F, Sun Q B et al. Effects of combined application of manganese, nitrogen and potassium on amino acid content of winter wheat [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(3): 373-380.
- [16] 张永清, 吴俊兰. 石灰性褐土小白菜优质高产与氮、锌、锰肥配施[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 348-352.  
Zhang Y Q, Wu Z L. Study on the effect of N, Zn and Mn combined application on yield and qualities of Chinese cabbage in calcareous cinnamon soil [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2003, 9(3): 348-352.