平菇高产栽培麦草配方数学模型与优化

钟雪美¹ 薛知文¹ 杜双田²

(1,3 西北农业大学食品系, 陕西杨陵) (2 陕西师范大学生物系, 西安)

摘要 采用回归正交设计, 研究麦草栽培平菇的配方组合与平菇产量之间的数量关系, 建立了数学模型。结果表明, 以麦草为主料, 各组分的合适用量, 以及它们之间的一定组合关系, 可使产量大幅度提高, 并具有较好的稳定性。同时提出了麦草栽培平菇的最优配方方案为: 麸皮: 玉米面: 尿素: 麦草: 硫酸镁: 过磷酸钙 = 15: 5 ~ 7.27: 0 ~ 0.3: 75 ~ 85: 0.0183: 1。这在生产实践中很有应用价值。

关键词 侧耳属, 栽培, 配方, 最优化/平菇

中图分类号 S11, Q-332, S646.110.4

麦草栽培平菇 (*Pleurotus ostreatus*) 是变废为宝的有效途径之一。在麦草配料方面, 以往报道的多为单因子试验, 在应用上有一定的局限性。事实上, 麦草配料各组分间存在着错综复杂的相互关系, 任何一个因素的变化都将引起整个系统的响应。本研究的目的就是了解各因素间的功能及其内在联系, 为生产优质、高产平菇提供依据。我们在研究麦草培养料C/N比对平菇产量影响^[1]的基础上, 于1988~1989年在西北农大食用菌厂, 应用回归正交设计的规范化栽培试验, 测定相应参数, 建立数学模型, 为麦草栽培平菇提供一套最优的配方方案。

1 试验设计与方法

试验设计 采用13因素三水平回归正交设计, 选取差异显著的因素作为决策变量, 平均产量 ($\bar{r}$) 为目标函数。因素水平编码见表1。

表1 变量水平及编码表

kg

自变量水平	X ₁ 麸皮	X ₂ 玉米面	X ₃ 尿素	X ₄ 麦草	X ₅ 硫酸镁	X ₆ 过磷酸钙	X ₇ 石膏	X ₈ 石灰
-1	5	0	0	75	0	0	0	0
0	10	5	0.3	85	0.03	1	1	0.5
1	15	10	0.5	95	0.05	2	2	1.0

原料处理 选用新鲜无霉变麦草, 经曝晒后粉碎成2cm左右的丝片状, 按设计比例配料, 除尿素、硫酸镁直接溶于水外, 其余添加料放在一起充分混匀, 再与麦草拌和均匀, 最后加水至合适程度, 闷2~4h后装袋, 料水比为1:1.3。

栽培管理 采用15cm×35cm的袋式熟料栽培, 每袋装干料300g, 重复5次。土法常规灭菌, 冷却后两头接种。菌株由西北农业大学食品系提供。菌丝在24℃下培养, 长

满袋后, 移入露天半地下室菇房, 随机排列出菇。出菇期间自然温度为 $10\sim 22^{\circ}\text{C}$ 。人工喷水, 菇房空气相对湿度保持在 $85\%\sim 90\%$ 。

2 结果与分析

2.1 平菇产量的回归数学模型

试验结果经方差分析可知, 13个决策变量中的麸皮、玉米面、尿素、麦草及过磷酸钙、硫酸镁等6个因素对产量有极显著或显著影响, 其 F 值分别为: 174.7, 55.47, 5.48, 25.15, 11.41和3.93。本研究选取这6个决策变量。据试验设计, 配置六元二次回归数学模型:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_j + \sum_{i<j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^m b_{jj} x_j^2 \pm \delta \quad (\text{其中 } m=6)$$

采用最小二乘法原理, 利用计算机计算模型中各参数估计值, 建立六元二次回归数学模型为:

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & 315.03 + 36.99x_2 + 17.61x_2 - 6.44x_3 - 14.01x_4 - 4.46x_6 + 5.89x_6 + 2.82x_1x_3 \\ & - 7.63x_1x_3 - 14.27x_1x_4 - 15.21x_1x_5 - 0.59x_1x_6 - 27.58x_2x_3 - 1.26x_2x_4 \\ & + 5.18x_2x_6 + 5.05x_2x_6 - 8.96x_3x_4 - 1.24x_3x_6 - 6.25x_3x_6 + 33.61x_4x_5 \\ & - 23.03x_4x_6 - 4.00x_6x_6 + 2.45x_1^2 - 19.4x_2^2 + 2.05x_3^2 + 1.83x_4^2 \\ & - 5.71x_6^2 + 12.81x_6^2 \end{aligned} \quad (1)$$

对模型(1)经方差分析检验, $F(101.552183) > F_{0.01}(1.50)$, 因而模型(1)具有较好的可信度。

2.2 主因子效应分析

经无量纲线性编码代换后, 模型(1)中的系数已经标准化, 因而可以用其绝对值大小判明各因子的重要程度^[2]。由模型(1)中产量的一次回归系数看, $x_5 < x_6 < x_3 < x_4 < x_2 < x_1$, 说明其对产量的影响程度依次增大; 从二次项系数来看, x_2 和 x_6 的回归系数绝对值为大, x_2 和 x_6 的回归系数为负, 说明不适当地增加玉米面和硫酸镁的用量均会引起平菇产量的下降。从交互项来看, x_1 与 x_4 , x_1 与 x_5 , x_4 与 x_5 , x_4 与 x_6 , x_2 与 x_3 间的交互作用较为明显, 彼此间的相互协作均会共同影响产量效应。

由于试验设计时对于平方项施行了中心化线性代换, 满足了试验的正交性, 模型(1)中各项效应线性可加, 其偏回归系数彼此独立, 故采用“降维法”进行主因子效应分析^[3]。

求 x_i ($i=1, 2, \dots, 6$) 对 $\hat{Y}$ 的偏回归方程, 并以此来分析 x_i 与 $\hat{Y}$ 的相关关系; 并用方程的导函数分析 x_i 取不同值对 $\hat{Y}$ 的影响趋势。 x_i 对 $\hat{Y}$ 的偏回归方程及其导函数为:

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_i x_i + b_{ii} x_i^2 \quad (i=1, 2, \dots, 6) \quad (2)$$

$$\hat{Y}'_i = b_i + 2 \cdot b_{ii} x_i \quad (i=1, 2, \dots, 6) \quad (3)$$

(2)、(3)式中参数值与(1)模型中参数值相同。由此可得各因素不同水平的增

产量及趋势, 见表2。

表2 各因素不同水平的增产量及趋势

因素		$\hat{Y}$ 的增产量及增产趋势 $\hat{Y}_i'$				增产趋势及 最优水平
x_1	水平	-1	0	1		≥ 1
	增产量	-34.54	0	39.44		
	$\hat{Y}_1'$	32.09	36.99	41.89		
x_2	水平	-1	0	0.454	1	0.454
	增产量	-37.01	0	3.999	-1.79	
	$\hat{Y}_2'$	56.41	17.61	0	-21.19	
x_3	水平		-1	0	1	≤ 1
	增产量		8.49	0	-4.39	
	$\hat{Y}_3'$		-10.54	-6.44	-2.34	
x_4	水平		-1	0	1	≤ 1
	增产量		15.84	0	-12.18	
	$\hat{Y}_4'$		-17.67	-14.01	-10.35	
x_5	水平	-1	-0.391	0	1	-0.391
	增产量	-1.25	0.869	0	-10.17	
	$\hat{Y}_5'$	6.96	0	-4.46	-15.88	
x_6	水平	-1	-0.230	0	1	≥ 1
	增产量	6.92	6.57	0	18.7	
	$\hat{Y}_6'$	-19.73	0	5.89	31.51	

分析结果表明, 各因素对 $\hat{Y}$ 的最优区间及最佳水平为 x_1 超过1; x_2 为0~1, 最佳为0.454; x_3, x_4 为-1或其下; x_5 为-1~0, 最佳为-0.391; 同时在 x_1, x_3, x_4 水平分别取-7.55, 1.57, 3.83时效益最差。综上, 各因素的最佳水平所对应的技术指标为: 麸皮用量大于15 kg; 玉米面7.27 kg; 尿素少许或0; 麦草用量少于7.5kg; 硫酸镁用量为0.0183 kg, 过磷酸钙用量应大于2 kg。

以上分析仅从单因素出发, 有一定的局限性, 还必须结合因素间的交互作用综合考虑。

2.3 因素间的交互作用

为讨论对产量有较大影响的五对因素($x_1x_4, x_1x_5, x_4x_5, x_4x_6, x_2x_3$)中不同水平的交互作用及其对产量的影响, 分别固定其它因素为0, 确立二因素作用下的产量回归模型。

2.3.1 麸皮与麦草间用量的交互作用

据(1)确立的 x_1x_4 交互作用的数学模型为:

$$\hat{Y}_{1,4} = 315.03 + 36.99x_1 - 14.01x_4 - 14.27x_1x_4 + 2.45x_1^2 + 1.83x_4^2 \quad (4)$$

由(4)得麸皮与麦草用量间的交互作用(表3)表明, 随着麸皮用量的增加和麦草

用量减少,其产量增加,与前分析相同,但稳定性较差;而麸皮为5 kg,麦草为9.5 kg时,稳定性最好。可见, x_1 并非越大越好,一般取15 kg为宜。

2.3.2 麸皮与硫酸镁用量间的交互作用

由(1)同样可确立麸皮与硫酸镁用量间的交互作用模型:

$$\hat{Y}_{15} = 315.03 + 36.99x_1 - 4.46x_5 - 15.21x_1x_5 + 2.45x_1^2 - 5.71x_5^2 \quad (5)$$

由(5)分析结果(表3)可知,当硫酸镁、麸皮分别取1,0水平时最稳定,对应的配料用量:硫酸镁0.05 kg,麸皮10 kg。进一步证明麸皮用量不可过大,否则将引起产量的不稳定。

2.3.3 麦草用量与硫酸镁用量的交互作用

x_4 与 x_5 交互作用的数学模型为:

$$\hat{Y}_{45} = 315.03 - 14.01x_4 - 4.46x_5 + 33.61x_4x_5 + 1.83x_4^2 - 5.71x_5^2 \quad (6)$$

由(6)分析结果(表3)表明,麦草、硫酸镁分别取0,0水平,即各为85,0.03 kg时,产量最稳定;同时可看出硫酸镁对产量影响居六决策变量中最小者。

2.3.4 玉米面与尿素间的交互作用

据(1)得 x_2 与 x_3 交互作用的数学模型为:

$$\hat{Y}_{23} = 315.03 + 17.61x_2 - 6.44x_3 - 27.58x_2x_3 + 2.05x_3^2 - 19.4x_2^2 \quad (7)$$

据(7)分析结果(表3)可知,尿素取1水平,玉米面取0水平时,产量稳定性为好。

2.3.5 麦草与过磷酸钙的交互作用

由模型(1)得 x_4 与 x_6 的数学模型:

$$\hat{Y}_{46} = 315.03 - 14.01x_4 + 5.89x_6 - 23.03x_4x_6 + 1.83x_4^2 + 12.81x_6^2 \quad (8)$$

由(8)分析结果(表3)可知,当麦草和过磷酸钙分别取0,-1水平,即各为85 kg和0 kg时,对产量影响更为强烈,稳定性最好。

2.4 平菇高产栽培麦草配方的优化方案

综上所述,考虑产量高低及其稳定性,结合具体实际经验,提出了下列麦草配方优化方案:

麸皮 从单一效应讲,水平大于1,产量高,但由交互作用看,水平越高,稳定性越差;结合实际情况,初步确定最优水平为1,即取15 kg为宜。

玉米面 依单因子分析,最优区间为0~1,最佳水平为0.454;按稳定性分析,取0水平最稳定,因而将最优区间缩为0~0.454,相应的指标值为5~7.27 kg。

尿素 依单因子分析,其优化区间在-1以下,但结合稳定性,将其优化区缩为-1~0,相应指标为0~0.3 kg,但偏重于0水平,即不加或少许。

麦草 在 x_1 与 x_4 的交互作用中, x_4 取1水平最稳定;在 x_4 与 x_5 的交互作用中, x_4 取0水平最稳定;结合单因子作用分析,初步认为优化区间为-1~0水平,应取其指

标值为75~85 kg。

硫酸镁 单因子分析其优化区间为-1~0, 最佳水平取-0.391; 从交互作用分析, 取0水平时最稳定, 因而可认为硫酸镁的指标值为0~0.03kg, 最佳水平为0.0183kg。

过磷酸钙 由单因子分析, 其最优水平超过1。但依交互作用分析, 量太大稳定性差, 权衡二者, 取最优水平为0, 即1 kg左右。

由上可得出, 优化配方方案为:

$$x_1 : x_2 : x_3 : x_4 : x_5 : x_6 = 15 : 5 \sim 7.27 : 0 \sim 0.3 : 75 \sim 85 : 0.0183 : 1.$$

3 结 论

本试验的信息矩阵基于多元二次数学模型制成的, 经检验达到0.01极显著水平, 配置的回归模型可以较为客观地反映实际。

在本试验条件下, 主次成分顺序为: 麸皮>玉米面>麦草>尿素>过磷酸钙>硫酸镁。为了进一步提高平菇产量, 应使麸皮、玉米面、麦草三者间的用量配置适当, 同时在实际配制比例时, 要周密考虑各因素间的相互作用, 做到趋利避害, 因势利导。

参 考 文 献

- 1 钟雪美, 屈亮. 麦草培养料碳氮比值对平菇生长发育和产量的影响. 中国食用菌, 1988, (1): 17~19
- 2 刘俊明, 王允. 春小麦高产栽培农艺措施数学模型与优化. 北京农学院学报, 1989, 7(2): 199~208
- 3 桑育春, 俞良甫. 五元二次正交旋转回归模型的数学分析法. 河北农业大学学报, 1986, 9(1): 65~73

Mathematical Model and Optimum Formula of High Yielding Cultivation of *Pleurotus ostreatus* with Wheat Straw

Zhong Xuemei Du Shuangtian

(Department of Food Science, Northwest Agricultural University, Yangling, Shaanxi)

Xue Zhiwen

(Department of Biology, Shaanxi Teachers University, Xi'an)

Abstract This paper adopts the rotatable second order design to study the numerical relation between the formula cultivation of *Pleurotus ostreatus* with wheat straw and the yield of *Pleurotus ostreatus*, and to establish their mathematical model. The results show that the yield can be highly improved with better stability using wheat straw as main material, with the optimum quantity of every composition and in certain integrating relation of them. It also suggests an optimum formula with the ratio of wheat bran to corn-meal to urea to wheat straw to $MgSO_4$ to $CaSO_4$ to $Ca_3(PO_4)_2$ are 15 to 5—7.27 to 0—0.3 to 75—85 to 0.0183 to 1. This is very applicable to practical production activities.

Key words *Pleurotus*, cultivation, formulations, optimization/*Pleurotus ostreatus*