

46-50

第21卷 第1期
1993年1月西北农业大学学报
Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalisVol.21 No.1
Jan. 1993猴头菌栽培基质最佳配方的数学模型研究¹杜双田 钟雪美 刘林丽²

(西北农业大学食品科学系, 陕西杨陵·712100)

摘 要 采用比率设计与正交旋转组合设计方法, 通过建立数学模型, 研究了猴头菌人工栽培中6种常用基质的用量及其交互作用与产量的定量关系。结果表明: 各基质之间的最佳组合可以大幅度提高猴头菌的产量, 得出了各种基质在生产中实用的比率范围及最佳栽培配方, 即麸皮 19.3%, 玉米粉 1.43%, 黄豆饼粉 2.86%, 过磷酸钙 2.86%, 生石膏 2.14%, 棉子壳 71.4%, 其生物学效率可达 180%。

关键词 猴头菌; 栽培基质; 最佳配方; 数学模型; 比率设计; 正交旋转组合设计

中图分类号 S646.035; S11

猴头菌是一种珍贵的食用菌和药用菌, 其人工栽培已有 30 年的历史, 但栽培技术发展缓慢, 生物学效率低而不稳。为了提高人工栽培猴头菌的产量, 本试验采用比率设计与正交旋转组合设计相结合的方法, 对猴头菌人工栽培中 6 种常用料的用量进行研究, 试图探明各基质及交互作用对猴头菌产量的影响规律, 寻求猴头菌高产栽培配方, 为猴头菌的生产提供理论依据。

1 材料与方法

材料 供试菌种由陕西省农科院提供, 其编号为 H006。母种培养基为: 麦芽糖 10 g, 葡萄糖 2 g, 蔗糖 8 g, 蛋白胨 0.5 g, $MgSO_4$ 0.5 g, KH_2PO_4 1 g, 麸皮 50 g, 马铃薯 100 g, 琼脂 23 g, 水 1000 mL; 原种培养基为小麦粒 98.5%, 蛋白胨 0.5%, 糖 1%。采用原种直接栽培。麸皮(x_1), 玉米粉(x_2), 黄豆饼粉(x_3), 过磷酸钙(x_4), 生石膏(x_5), 棉籽壳(x_6)。

试验设计 本研究采用比率设计和正交旋转组合设计方法^(1,2), 各因素比率 $Z_j = x_j / x_6$ ($j=1, 2, \dots, 5$) 范围分别为 $[0.06, 0.27]$, $[0.02, 0.09]$, $[0.00, 0.04]$, $[0.00, 0.04]$, $[0.00, 0.03]$, 且 $\sum_{j=1}^5 X_j = 1$, 转化因素(Z_j)的水平编码见表 1。按五因素正交旋转组合设计安排试验, 其具体实施方案见表 2。

栽培方法 采用 330 mm×150 mm×0.04 mm 的聚乙烯塑料袋, 按常规熟料袋栽法栽培⁽³⁾, 每袋装风干料 300 g, 12 次重复。常压灭菌; 两端定量接种, 发菌温度为 $(25 \pm 1)^\circ C$, 空气相对湿度为 70% 左右。所有料袋随机堆放, 定时翻堆, 出菇期自然温度为 10~20 $^\circ C$, 人工喷水保持空气相对湿度 90%~95%, 记录每袋的鲜猴头产量。

收稿日期: 1991-10-22

1. 加拿大基金资助项目, 2. 91 届学生

表1 因素(Z_j)的水平编码表

%

$Y_j(Z_j)$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
$r(2)$	0.270 00	0.090 00	0.040 00	0.040 00	0.030 00
1	0.221 75	0.072 50	0.030 00	0.030 00	0.022 50
0	0.165 00	0.055 00	0.020 00	0.020 00	0.015 00
-1	0.112 50	0.037 50	0.010 00	0.010 00	0.007 50
$-r(-2)$	0.060 00	0.020 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00

表2 各因素百分组合试验实施方案

%

试验号	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
1	16.88	5.38	0.74	2.23	0.56	74.21
2	8.18	5.79	0.80	2.40	2.99	79.84
3	16.95	2.79	0.75	2.24	2.79	74.49
4	8.63	3.16	0.84	2.53	0.63	84.21
5	15.85	5.05	2.09	2.09	5.23	69.69
6	8.06	5.70	2.36	2.36	2.95	78.59
7	16.70	2.75	2.20	2.20	2.75	73.39
8	8.49	3.11	2.49	2.49	0.62	82.82
9	16.88	5.38	2.26	0.74	0.56	74.21
10	8.18	5.79	2.40	0.80	2.99	79.84
11	16.95	2.80	2.23	0.74	2.79	74.49
12	8.63	3.16	2.53	0.84	0.63	84.21
13	17.14	5.46	0.75	0.75	0.56	75.33
14	8.32	5.88	0.81	0.81	3.04	81.14
15	17.20	2.79	0.76	0.76	2.84	75.61
16	8.78	3.21	0.86	0.86	0.64	85.66
17	19.57	3.99	1.45	1.45	1.09	72.46
18	5.13	4.70	1.71	1.71	1.28	85.46
19	12.60	6.87	1.53	1.53	1.15	76.34
20	13.31	1.61	1.61	1.61	1.21	80.65
21	12.74	4.25	3.09	1.54	1.16	77.22
22	13.15	4.38	0.00	1.59	1.20	79.68
23	12.74	4.25	1.54	3.09	1.16	77.22
24	13.15	4.38	1.59	0	1.20	79.68
25	12.79	4.26	1.55	1.55	2.33	77.52
26	13.02	4.34	1.58	1.58	0.60	78.90
27	12.94	4.31	1.57	1.57	1.18	78.43
28	12.94	4.31	1.57	1.57	1.18	78.43
29	12.94	4.31	1.57	1.57	1.18	78.43
30	12.91	4.31	1.57	1.57	1.18	78.43

2 结果分析

2.1 建立数学模型

根据文献[1]介绍的方法,可得各因素的(Y_j)关于猴头菌产量($\hat{M}$)的数学模型:

$$\begin{aligned} \hat{M} = & 301.82 + 14.46Y_1 + 7.835Y_3 + 14.56Y_5 - 5.62Y_1Y_2 - 9.41Y_2Y_3 \\ & - 14.34Y_2Y_5 + 3.77Y_4Y_5 + 3.61Y_1^2 + 9.86Y_4^2 - 5.66Y_5^2 \end{aligned} \quad (1)$$

对(1)式进行显著性检验和失拟检验结果表明,其显著性达0.01,且不失拟,说明(1)式具有很高的可信度而且符合客观实际。还可以看出 Y_2 单因素对提高产量影响不显著,但与 Y_1 , Y_3 , Y_5 的交互作用却能极显著地提高猴头菌的产量,从而表明在猴头菌生产中添加玉米粉是必要的。

2.2 主因子对猴头菌产量的影响^[4]

由于二次模型(1)是经过编码代号、正交化的,一个因子回归系数的大小,表示该因素增产效应的大小。各因素增产效应的大小顺序为 Y_5 , Y_1 , Y_3 ;交互作用增产效应的大小顺序为 Y_2Y_5 , Y_2Y_3 , Y_1Y_2 , Y_4Y_5 。

2.2.1 Y_1 对产量的影响

由模型(1)有:

$$\hat{M} = 301.82 + 14.46Y_1 + 3.61Y_2^2 \quad (2)$$

由(2)可得图1。由图1可知,随着 Y_1 的增大,猴头菌的产量逐渐提高。当 $Y_1 = 2$ 时, $\hat{M}_{(Y_1)}$ 最大。考虑到猴头菌的生产成本及与家畜家禽互争饲料(麸皮)问题,在生产上可以取〔1,2〕水平。

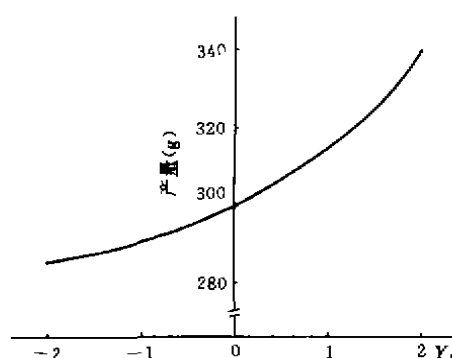


图1 Y_1 对产量的影响

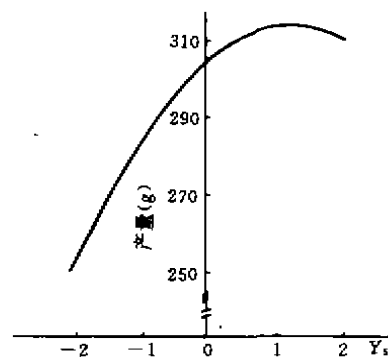


图2 Y_5 对产量的影响

2.2.2 Y_3 对产量的影响

由模型(1)有

$$\hat{M}_{(Y_3)} = 301.82 + 7.835Y_3 \quad (3)$$

可见 Y_3 与产量呈线性关系,且直线的斜率较大,表明 Y_3 (黄豆饼粉)对增产的作用很大,可取〔1,2〕水平。

2.2.3 Y_5 对产量的影响

根据模型(1)有

$$\hat{M}_{(Y_5)} = 301.82 + 14.56Y_5 - 5.66Y_5^2 \quad (4)$$

由(4)可得图2。由图2可以看出,适量的生石膏可以提高猴头菌的产量,反之则会降低其产量,经求极值可知,当 $Y_5 = 1.29$ 时,猴头菌的产量最高。

2.3 交互作用对产量的影响^[4]

2.3.1 Y_2Y_5 对产量的影响

Y_2Y_5 对产量的效应关系为:

$$\hat{M}_{(Y_2Y_5)} = 14.56Y_5 - 14.34Y_2Y_5 + 2.15Y_2^2 - 5.66Y_5^2 + 301.82 \quad (5)$$

Y_2Y_5 对 $\hat{M}$ 的相对变化关系见表3.

表3 Y_2Y_5 各水平与 $\hat{M}$ 的相对关系

Y_2 的不同水平	Y_5 的不同水平				
	$r(2)$	1	0	-1	$-r(-2)$
$r()$	-27.72	-11.18	8.60	24.08	43.32
1	-20.05	-3.29	2.15	7.59	8.19
0	6.48	8.90	0.00	-8.9	-22.64
-1	33.01	25.39	2.15	-18.94	-49.19
$-r(-2)$	72.44	46.18	8.60	-28.98	-71.40

表3表明: 当 Y_5 取 2, Y_2 取 -2 水平时, 可增产 72.44 g; 当 Y_5 取 1, Y_2 取 -1 水平时可增产 46.18 g. 实际生产中应选用高水平的石膏用量和低水平的玉米粉用量, 即 $Y_5 \in [1, 2]$, $Y_2 = -r$.

2.3.2 其它交互作用产量的影响 同理可得到

$$\hat{M}_{(Y_2Y_3)} = 7.835Y_3 - 9.41Y_2Y_3 + 2.15Y_2^2 + 301.82 \quad (6)$$

$$Y_2 = -r, Y_3 \in [1, r]$$

$$\hat{M}_{(Y_1Y_2)} = 301.82 + 14.46Y_1 - 5.62Y_1Y_2 + 3.61Y_1^2 + 2.15Y_2^2 \quad (7)$$

$$Y_1 = r, Y_2 \in [-1, -r]$$

$$\hat{M}_{(Y_4Y_5)} = 301.82 + 1.945Y_4 + 14.56Y_5 + 3.77Y_4Y_5 + 9.86Y_4^2 - 5.66Y_5^2 \quad (8)$$

$$Y_4 = r, Y_5 \in [1, r]$$

由于以上分析只考虑到二因素间的直接效应, 并没有考虑其间接作用以及各因素联合效应, 因此, 必须对以上分析结果进行综合分析。例如, Y_2 与 Y_1, Y_3, Y_5 的交互作用都显著, 而 Y_5 与 Y_4 的交互作用也显著; Y_1 与 Y_2, Y_3, Y_5 均呈负相关, Y_5 与 Y_4 呈正相关。当 Y_2 取负水平时, Y_1, Y_3, Y_5 取正水平, 同时 Y_5 的取值又会影响 Y_4 的效应等。各因素(Y_j)之间相互影响, 营养物质互相补充, 发挥作用。综上分析结果得出各因素 $Y_1, Y_2, \dots, Y_5$ 取值分别为 2, -2, (1, 2), 2, (1, 2); $Z_1, Z_2, \dots, Z_5$ 取值分别为 0.27, 0.02, (0.03, 0.04), 0.04, (0.0225, 0.03)。

2.4 最优基质配方的确定

由以上结果可以看出, Y_1, Y_2, Y_4 的取值范围已经确定, Y_3, Y_5 的取值范围已经缩小到 (1, 2), 结合模型(1)不难看出, Y_3 取 2 水平时增产效果最好。将 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 的取值代入模型(1)得关于 Y_5 的二次曲线方程:

$$\hat{M} = 466.66 + 50.78Y_5 - 5.66Y_5^2$$

很明显在试验范围内, 曲线呈上升趋势, 故取 $Y_5 = 2$ 水平, 于是得到关于 $Z_j (j=1, 2, 3, 4, 5)$ 的取值分别为 0.27, 0.02, 0.04, 0.04, 0.03. 则有 $x_1/x_6 = 0.27$; $x_2/x_6 = 0.02$; $x_3/x_6 = 0.04$; $x_4/x_6 = 0.04$; $x_5/x_6 = 0.03$; $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 1$.

由以上方程得 $x_1, x_2, \dots, x_6$ 分别为 0.193, 0.0143, 0.0286, 0.0286, 0.0214,

0.7141, 即猴头菌栽培基质的最佳配方为: 麸皮 19.3%, 玉米粉 1.43%, 黄豆饼粉 2.86%, 过磷酸钙 2.86%, 生石膏 2.14%, 棉子壳 71.41%, 将此配方对应水平编码代入模型(1)得到最大理论产量为 545.58 g/袋, 生物学效率达 181.86%。

3 结 论

1) 麸皮、黄豆饼粉、生石膏对猴头菌有增产作用。玉米粉的添加对提高猴头菌产量有较大的潜力, 过磷酸钙与生石膏同时添加具有更好的增产效果。

2) 本研究得出了各种原料用量的比率范围, 栽培者可以根据当地原料的价格及资源情况灵活掌握。

3) 猴头菌栽培基质最优配方, 其生物学效率 181.86%, 用该配方在相同条件下重复栽培进行证明试验, 生物学效率达 177%, 表明该配方具有一定的推广价值。

4) 本研究采用比率设计与正交旋转组合设计相结合的方法, 取得了令人满意的效果, 说明此方法应用于食用菌研究是可行的, 也可为同类研究提供参考。

参 考 文 献

- 1 仝露泉主编. 试验优化技术. 北京: 机械工业出版社, 1987. 2, 121~161, 240~241
- 2 钟雪美, 薛知义, 杜议田. 平菇高产栽培麦草配方数学模型与优化. 西北农业大学学报, 1991; 19(3): 44~49
- 3 杨新美主编. 中国食用菌栽培学. 北京: 农业出版社, 1989: 482~488
- 4 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(1): 66~73

The Mathematical Model of the Best Cultivation Prescription of *Heridium erinaceus* (Bull.) Pers

Du Shuangtian Zhong Xuemei Liu Linli

(Dept. of Food Science Northwest Agricultural University, Yangling, Shaanxi, China, 712100)

Abstract Through the setting up of mathematical model, rate design, and orthogonal rotational association design were adopted to study the dosage of substrata of six kinds, their interaction relationship with quantities of the yields in artificial cultivation of *Heridium erinaceus* (Bull.) pers. The results showed that the best accociation of substrata of six kinds can increase the yields of *Heridium erinaceus* (Bull.) Pers. greatly. Also, the rate scope and the best cultivation prescription of substrata of various kinds were obtained in practical production of *Heridium erinaceus* (Bull.) Pers. i.e. wheat bran 19.3%, plaster stone 2.14%, soybean cake 2.86%, $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 2.86%, corn meal 1.43% and cotton seed shell 71.41%, whose biological efficiency can reach 180%.

Key words *Heridium erinaceus* (Bull.) Pers; cultivation substratum; mathematical model; rate design; orthogonal rotational association design