

生姜秸秆栽培杏鲍菇培养基优化研究

闫永亮, 张秀云

(莱芜职业技术学院, 山东 莱芜 271100)

摘要:以杏鲍菇为试材,采用四元二次正交旋转组合设计的方法,研究了添加不同量生姜秸秆、麸皮、玉米粉和豆粕的培养基对杏鲍菇产量的影响,以确定生姜秸秆栽培杏鲍菇的最优配方。结果表明:生姜秸秆栽培杏鲍菇的优化配方为杂木屑 30%、玉米芯 18%、生姜秸秆 25%、麸皮 20%、玉米粉 1%、豆粕 4%、石膏 1%、过磷酸钙 1%。

关键词:杏鲍菇;生姜秸秆;正交旋转组合设计;优化配方

中图分类号:S 646 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)07-0140-04

杏鲍菇又名刺芹侧耳,其子实体色泽洁白,菌肉肥厚,质地脆嫩,营养丰富,是深受国内外市场欢迎的珍稀食用菌之一。我国自 20 世纪 90 年代开始引种栽培杏鲍菇,目前已经取得了较大进展。杏鲍菇是一种腐生兼寄生性真菌,具有较强的酶分泌能力,对纤维素、木质素和蛋白质降解能力强,各种农副产品下脚料、农作物秸秆都可作为杏鲍菇栽培原料。随着研究的深入,杏鲍菇栽培基质越来越多元化。研究表明,杏鲍菇的主要栽培原料有杂木屑、棉籽壳、玉米芯、蔗渣、麦秆、黄豆秆、废棉、稻草、甘薯藤和花生茎蔓等^[1-6]。莱芜是“中国生姜之乡”,种植生姜历史已逾 2 000 年,常年种植面积达 1.2 万 hm²,每年生姜收获后,都有大量的生姜秸秆或堆放于路边、或就地焚烧,不仅给道路交通造成安全隐患,而且由于焚烧生姜秸秆造成的烟雾给环境造成了严重的污染,影响周边群众的生活。根据杏鲍菇具有较强的分解纤维素和木质素的特点,实现就地取材,综合利用生姜秸秆替代棉籽壳,变废为宝,拓宽杏鲍菇栽培原料的来源。现采用四元二次正交旋转回归数学模型,借鉴当地杏鲍菇生产经验,选取生姜秸秆、麸皮、玉米粉和豆

粕的添加量作为考察指标,利用数学模型提供的信息,对生姜秸秆栽培杏鲍菇的高产配方进行优化,以获得最佳产量和经济效益,为生姜秸秆的综合利用提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菌株“杏鲍菇 79 号”引自山东省寿光市食用菌研究中心。

培养基:参照当地杏鲍菇生产配方,添加生姜秸秆、麸皮、玉米粉和豆粕的用量,在此基础上各个配方分别再添加 1% 的石膏和 1% 的过磷酸钙,剩余的量由杂木屑和玉米芯按 5:3 比例补足。

1.2 试验方法

用生姜秸秆代替其中的棉籽壳,选择生姜秸秆、麸皮、玉米粉和豆粕作为试验因素,采用四元二次正交旋转组合设计(全实施),进行 36 组试验,每组 20 袋,以每组杏鲍菇的袋平均产量为目标函数(\bar{Y}),优化用生姜秸秆替代棉籽壳栽培杏鲍菇的最佳生产配方,试验因素与水平见表 1。

表 1 四元二次正交旋转组合设计因素与水平

Table 1 Factors and levels of four factors quadratic rotation-orthogonal combination design

%

水平 Level	因素 Factor			
	X ₁ 生姜秸秆添加量 Supplementation of ginger straw	X ₂ 麸皮添加量 Supplementation of bran	X ₃ 玉米粉添加量 Supplementation of corn flour	X ₄ 豆粕添加量 Supplementation of soybean meal
+2	30	20	5	10.0
+1	25	17	4	8.5
0	20	14	3	7.0
-1	15	11	2	5.5
-2	10	8	1	4.0
Δj	5	3	1	1.5

第一作者简介:闫永亮(1975-),男,硕士,讲师,现主要从事生物技术的教学与科研工作。E-mail:yy108peter@126.com.

收稿日期:2013-12-10

1.3 项目测定

选取新鲜、无霉变的生姜秸秆,经过暴晒干燥后,用粉碎机粉碎成长约 1 cm 的小段,豆粕粉碎成直径约

5 mm 的颗粒后进行发酵处理,根据试验方案将原辅料混合均匀,用 1% 过磷酸钙水溶液拌料至培养基含水量 60%~65%,pH 自然。用规格为 20 cm×40 cm 的高密度低压聚乙烯塑料折角袋,每袋装干料 500 g,常压灭菌 12 h,冷却后无菌条件下接种,20~25℃ 避光发菌培养,菌丝满袋后移入室外菇棚内按试验组随机排列常规管理出菇,只统计第 1、2 潮菇产量,计算杏鲍菇袋平均产量。

1.4 数据分析

试验数据采用 DPS 7.05 软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 四元二次正交旋转组合设计结果

根据表 2 试验结果,建立目标函数(杏鲍菇袋平均产量 \bar{Y})与考察因素之间的数学回归模型为: $\bar{Y} =$

表 2 二次正交旋转组合设计结果

Table 2 Test results and design of quadratic rotation-orthogonal combination

试验号 Experiment No.	X_1	X_2	X_3	X_4	袋均产量 Yield of bagged/g	生物转化率 Biological efficiency/%
1	1	1	1	1	342.9	68.58
2	1	1	1	-1	341.8	68.36
3	1	1	-1	1	348.5	69.70
4	1	1	-1	-1	335.7	67.41
5	1	-1	1	1	327.9	65.58
6	1	-1	1	-1	313.6	62.72
7	1	-1	-1	1	321.3	64.26
8	1	-1	-1	-1	288.9	57.78
9	-1	1	1	1	329.3	65.86
10	-1	1	1	-1	335.9	67.18
11	-1	1	-1	1	340.3	68.06
12	-1	1	-1	-1	343.6	68.72
13	-1	-1	1	1	320.5	64.10
14	-1	-1	1	-1	293.5	58.70
15	-1	-1	-1	1	306.9	61.38
16	-1	-1	-1	-1	280.4	56.08
17	-2	0	0	0	308.9	61.78
18	2	0	0	0	315.7	63.14
19	0	-2	0	0	295.6	59.12
20	0	2	0	0	346.7	69.34
21	0	0	-2	0	312.8	62.56
22	0	0	2	0	331.6	66.31
23	0	0	0	-2	308.7	61.74
24	0	0	0	2	342.5	68.50
25	0	0	0	0	323.4	64.68
26	0	0	0	0	318.7	63.74
27	0	0	0	0	320.5	64.10
28	0	0	0	0	324.6	64.92
29	0	0	0	0	319.5	63.60
30	0	0	0	0	325.6	65.12
31	0	0	0	0	315.4	65.08
32	0	0	0	0	324.7	64.94
33	0	0	0	0	323.5	64.70
34	0	0	0	0	312.4	62.80
35	0	0	0	0	321.7	64.34
36	0	0	0	0	326.1	65.22

$321.34167 + 3.49167X_1 + 15.3X_2 + 3.225X_3 + 7.15833X_4 - 1.78125X_1^2 + 0.43125X_2^2 + 0.69375X_3^2 + 1.54375X_4^2 - 1.9125X_1X_2 + 1.4875X_1X_3 + 1.0625X_1X_4 - 4.7625X_2X_3 - 6.0125X_2X_4 - 2.0375X_3X_4$ 。为检验回归方程的有效性,按 $F_1 = \text{失拟均方} / \text{误差均方}$, $F_2 = \text{回归均方} / \text{剩余均方}$ 的程序进行二次 F 检验^[7]。

由表 3 可知,方程中的失拟项($F_1 = 1.83069$, $P > 0.05$)不显著,说明由于偶然因素对该试验造成的影响不显著,误差是随机产生的,回归方程的拟合检验 $F_2 = 24.76027$,从概率上来讲,整个回归模型达到了极显著的水平($P = 0.0001$),也就是说回归方程与在试验中选定的条件下试验结果拟合较好,可以用来预测在该试验范围内任何因子水平组合的指标值。

由于试验设计的正交性消除了各个回归系数之间的相关性,因此可以直接从回归方程中剔除回归系数不显著项,对回归方程进行简化。以下是 $\alpha = 0.10$ 显著水平剔除不显著项,简化后建立的回归方程为: $\bar{Y} = 321.34167 + 3.49167X_1 + 15.3X_2 + 3.225X_3 + 7.15833X_4 - 1.78125X_1^2 + 1.54375X_4^2 - 4.7625X_2X_3 - 6.0125X_2X_4$ 。

表 3 二次正交旋转组合试验结果方差分析

Table 3 Analysis of variance of results of quadratic rotation-orthogonal combination test

变异来源 Source of variation	平方和 Squariance	自由度 Df	均方 Mean square	偏相关 Partial correlation	F 值 F valve	P 值 P valve
X_1	292.6017	1	292.6017	0.5973	11.6464	0.0026
X_2	5 618.1598	1	5 618.1598	0.9561	223.6182	0.0001
X_3	249.6150	1	249.6150	0.5667	9.9354	0.0048
X_4	1 229.8016	1	1 229.8016	0.8365	48.9495	0.0001
X_1^2	101.5312	1	101.5312	-0.4017	4.0412	0.0574
X_2^2	5.9512	1	5.9512	0.1056	0.2369	0.6315
X_3^2	15.4012	1	15.4012	0.1684	0.6130	0.4424
X_4^2	76.2612	1	76.2612	0.3554	3.0354	0.0961
X_1X_2	58.5225	1	58.5225	-0.3160	2.3294	0.1419
X_1X_3	35.4025	1	35.4025	0.2508	1.4091	0.2485
X_1X_4	18.0625	1	18.0625	0.1819	0.7189	0.4061
X_2X_3	362.9025	1	362.9025	-0.6384	14.4445	0.0010
X_2X_4	578.4025	1	578.4025	-0.7232	23.0220	0.0001
X_3X_4	66.4225	1	66.4225	-0.3344	2.6438	0.1189
回归 Regression	8 709.0383	14	622.0742		$F_2 = 24.76027$	0.0001
剩余 Surplus	527.6017	21	25.1239		$F_1 = 1.83069$	0.1168
失拟 Lack of fit	329.5725	10	32.9572			
误差 Error	198.0292	11	18.0027			
总和 Sum	9 236.6400	35				

2.2 主效因子分析

由于二次模型是经过编码代换,正交化的,1 个因子回归系数的大小,表示该因子增产效应的大小^[8]。从表 3 可以看出, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 4 个主因子一次项都达到了极显著的水平,对杏鲍菇的产量有显著的影响,4 个试验因

素对杏鲍菇产量增产效应的大小顺序是 $X_2 > X_4 > X_1 > X_3$, 所以在试验因素参试水平范围内, 合理选择最佳添加范围, 就能有效的提高杏鲍菇的产量, 取得最佳的经济效益。

2.3 回归模型的单因子效应分析

将 4 个参试因素中的任意 3 个因素固定在零水平, 可以得到各单一因素对杏鲍菇产量影响的回归子模型:

$$X_1 \hat{Y} = 321.34167 + 3.49167X_1 - 1.78125X_1^2;$$

$$X_2 \hat{Y} = 321.34167 + 15.3X_2;$$

$$X_3 \hat{Y} = 321.34167 + 3.225X_3;$$

$$X_4 \hat{Y} = 321.34167 + 7.15833X_4 + 1.54375X_4^2.$$

由图 1 可知, 在参试的 4 个因素中, 因素 X_2 (麸皮添加量)、 X_3 (玉米粉添加量) 与杏鲍菇产量成线性关系, 单纯从麸皮和玉米粉添加量的角度考虑, 在 $-2 \sim 2$ 这一水平区间, 杏鲍菇的产量随着麸皮和玉米粉添加量的递增而增加, 每增加 1 个水平, 杏鲍菇的袋均产量将分别增加 15.3 g 和 3.23 g, 其中麸皮添加量对杏鲍菇产量的影响更大; 因素 X_1 (生姜秸秆添加量) 与杏鲍菇的产量之间的关系曲线是一开口向下的抛物线, 在该试验水平范围内, 当因素 X_1 取 1.0 水平时, 其对杏鲍菇产量的贡献达到最大值, 之后随着添加量的增加杏鲍菇的产量反而有所下降; 因素 X_4 (豆粕添加量) 在 $-2 \sim 2$ 的参试水平范围内, 随着豆粕添加量的增加, 杏鲍菇的产量呈现出递增的趋势。

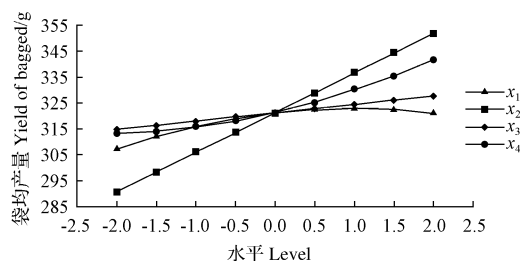


图 1 各因素对杏鲍菇袋均产量的影响

Fig. 1 Effect of signal factor on yield per bag of *Pleurotus eryngii*

2.4 回归模型交互效应分析

2.4.1 X_2 与 X_3 交互效应及其对产量的影响 X_2 与 X_3 2 个因素交互效应的回归方程是: $\hat{Y}_{(X_2, X_3)} = 321.34 + 15.3X_2 + 3.225X_3 - 4.76X_2X_3$, X_2 与 X_3 交互作用对杏鲍菇产量呈负相关, 由表 4 可知, X_2 取 $[-1, -2]$ 水平时, 随着 X_3 用量水平的下降, X_2 与 X_3 的互作表现为明显的减产效应, 当 X_2 与 X_3 都取 -2 水平时, 杏鲍菇袋均产量减产达 56.09 g。 X_2 取 $[1, 2]$ 水平时, 杏鲍菇产量随着 X_3 用量水平的增加反而逐渐降低, 这是因为当 X_2 取较高水平时培养基中的氮源物质含量较高, 继续增加氮源物质的量对杏鲍菇的产量反而有减产的作用。当

X_2 取 2 水平, X_3 取 $[-1, -2]$ 水平时, 由于二因素的互作效应杏鲍菇有明显的增产作用, 所以在生产实际中, 因素 X_2 的添加量可以取 $+2$ 水平, X_3 的添加量可以取 $[-1, -2]$ 水平。

表 4 X_2 、 X_3 的各水平与 Y 的关系

Table 4 Relation table of different levels of X_2 、 X_3 and Y

X_3 水平 X_3 level	X_2 不同水平与 X_3 的交互效应(Y) The interactive effect of different level of X_2 and X_3 (Y)				
	2	1	0	-1	-2
2	18.010	12.230	6.450	0.67	-5.110
1	24.305	13.765	3.225	-7.315	-17.855
0	30.600	15.300	0	-15.300	-30.600
-1	36.895	16.835	-3.225	-23.285	-43.345
-2	43.190	18.370	-6.450	-31.270	-56.090

2.4.2 X_2 与 X_4 交互效应及其对产量的影响 X_2 与 X_4 2 个因素交互效应的回归方程是: $\hat{Y}_{(X_2, X_4)} = 321.34 + 15.3X_2 + 7.16X_4 + 1.54X_4^2 - 6.01X_2X_4$, 由 X_2 、 X_4 交互效应的回归方程看出, X_2 、 X_4 的交互效应小于它们的单一效应, 并且呈负相关。由表 5 可知, 因素 X_2 、 X_4 都取负水平时, 有明显的减产效应, 随着因素 X_2 用量水平的增加, 因素 X_4 在各水平都有增产趋势, 但因素 X_4 在负水平比在正水平条件下有比较明显的增产效应。在生产实际中, 因素 X_2 的添加量可以取 $+2$ 水平, X_4 的添加量可以取 $[-1, -2]$ 水平。

表 5 X_2 、 X_4 的各水平与 Y 的关系

Table 5 Relation table of different levels of X_2 、 X_4 and Y

X_4 水平 X_4 level	X_2 不同水平与 X_4 的交互效应(Y) The interactive effect of different level of X_2 and X_4 (Y)				
	2	1	0	-1	-2
2	27.04	23.76	20.48	17.2	13.92
1	27.28	17.99	8.70	-0.59	-9.88
0	30.60	15.30	0	-15.30	-30.60
-1	37.00	15.69	-5.62	-26.93	-48.24
-2	46.48	19.16	-8.16	-35.48	-62.80

2.5 杏鲍菇培养基配方优化与验证

通过二次正交旋转回归模型的分析, 得出杏鲍菇产量最高点的代码值为 $X_1 = 1$ 、 $X_2 = 2$ 、 $X_3 = -2$ 、 $X_4 = -2$, 杏鲍菇产量的最大预测值为 382.16 g/袋, 将代码值转换成各参试因素的添加量, 得到生姜秸秆栽培杏鲍菇的最优配方为杂木屑 30%, 玉米芯 18%, 生姜秸秆 25%, 麸皮 20%, 玉米粉 1%, 豆粕 4%, 石膏 1%, 过磷酸钙 1%。以此最优配方进行 3 组平行试验, 每组 20 袋, 按照前面的方法进行生产管理, 得到杏鲍菇袋均产量为 372.4 g, 与理论预测值比较接近, 回归方程的预测性良好, 说明建立的回归方程是合理可靠的。

2.6 生姜秸秆与棉籽壳配方栽培杏鲍菇产量比较

对生姜秸秆配方与棉籽壳配方(杂木屑 30%, 玉米

芯 18%, 棉籽壳 25%, 麸皮 20%, 玉米粉 1%, 豆粕 4%, 石膏 1%, 过磷酸钙 1%) 进行杏鲍菇栽培试验比较, 由表 6 可知, 在其它生产条件相同的情况下, 生姜秸秆配方栽培杏鲍菇的袋均产量比棉籽壳配方的略有下降, 但由于生姜秸秆是当地农业生产的废弃物, 来源广泛, 生产成本低, 因此用生姜秸秆代替棉籽壳来进行杏鲍菇的栽培具有可行性。

表 6 不同配方产量比较

Table 6 Yield comparison of different compost

配方 Formula	袋均产量 Yield of bagged/g	生物学效率 Biological efficiency/%
生姜秸秆配方	368.9	73.78
棉籽壳配方	395.6	79.12

3 结论与讨论

杏鲍菇的栽培基质, 除了木质性栽培原料外, 纤维性原料来源也十分广泛。棉籽壳具有优良的透气和蓄水性, 加上其营养容易被利用, 是当前栽培杏鲍菇的常用原料。但棉籽壳还有一些残余的棉仁, 棉仁中含有的棉酚, 含量超过 3% 时会抑制菌丝的生长, 达到 5% 时菌丝生长会停止, 不仅影响生长, 还会影响子实体的产量^[9]。该研究用生姜秸秆代替棉籽壳进行杏鲍菇高产栽培, 结果表明生姜秸秆的添加量在 [0.5, 1] 水平范围内, 杏鲍菇的产量可以达到最佳, 添加量过多和过少杏鲍菇的产量都会降低, 这与栽培料中 C/N 比有关, 通过数学模型优化得到的最优配方中, 生姜秸秆的添加量取 1 水平 (添加 25%), 与棉籽壳配方相比较, 虽然生物学效率有所下降, 但由于生姜秸秆是当地的废弃物, 从成本和生物资源利用的角度考虑, 完全可以替代棉籽壳进行杏鲍菇的栽培。4 个因素中, 麸皮、玉米粉和豆粕都是培养基中的氮源物质, 其中以麸皮对杏鲍菇产量的影响最

大, 豆粕次之, 玉米粉的影响最小。在麸皮、豆粕和玉米粉都取 -2 水平时, 杏鲍菇产量有明显的下降, 这是由于培养基中的氮源物质含量只有 13%, C/N 较高影响了杏鲍菇的生物转化率, 这与廖志敏等^[10]的研究结果一致。随着麸皮用量的增加, 杏鲍菇的产量也逐渐增加, 当麸皮添加量取最高水平时, 添加过多的豆粕和玉米粉反而会使产量下降, 所以在生产实际中, 可以增加麸皮的用量而减少玉米粉和豆粕的用量。通过数学模型优化并经试验验证, 生姜秸秆栽培杏鲍菇可以采用如下的配方为杂木屑 30%, 玉米芯 18%, 生姜秸秆 25%, 麸皮 20%, 玉米粉 1%, 豆粕 4%, 石膏 1%, 过磷酸钙 1%, 这样不仅可以为生姜秸秆的综合利用找到一条新的出路, 而且可以降低杏鲍菇生产成本, 增加菇农的收入。

参考文献

- [1] 胡润芳, 林衍谄, 黄建成. 杏鲍菇不同配方栽培研究[J]. 中国食用菌, 1999, 18(3): 7-8.
- [2] 石景尚, 杜适普, 张云峰, 等. 栽培杏鲍菇配方筛选试验[J]. 食用菌, 2001, 23(1): 22.
- [3] 叶显, 陈尤经. 蔗渣栽培杏鲍菇试验[J]. 食用菌, 2001, 23(2): 21.
- [4] 洪建基, 曾日秋, 卢川北, 等. 不同培养料栽培杏鲍菇试验[J]. 中国食用菌, 2003, 22(2): 23-24.
- [5] 万鲁长, 刘广建, 任鹏飞, 等. 花生茎蔓主料栽培杏鲍菇的安全优质标准化技术[J]. 食药菌, 2012, 20(3): 166-168.
- [6] 华秀红, 宋金佛, 林金盛. 农业秸秆在杏鲍菇生产中的应用[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(4): 390-393.
- [7] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其数据处理系统[M]. 北京: 科学技术出版社, 2002: 159-163.
- [8] 桑育春, 余良甫. 五元二次正交旋转回归模型的数学分析法[J]. 河北农业大学学报, 1986, 9(1): 66-73.
- [9] 林群英, 张峰伦, 孙晓明, 等. 杏鲍菇生物学特性及栽培技术研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2013, 32(1): 12-14.
- [10] 廖志敏, 郭倩, 尚晓东, 等. 杏鲍菇工厂化栽培基质研究[J]. 上海农业学报, 2009, 25(2): 62-65.

Study on Optimization of Formula for Cultivation of *Pleurotus eryngii* Using Ginger Straw

YAN Yong-liang, ZHANG Xiu-yun

(Laiwu Vocational Institute of Technology, Laiwu, Shandong 271100)

Abstract: Taking *Pleurotus eryngii* as material, using four factors quadratic rotation-orthogonal combination design, the effect of additive amount of ginger straw, bran, corn flour and soybean on yield of *Pleurotus eryngii* were studied, the optimal compost for cultivation medium of *Pleurotus eryngii* by ginger straw was obtained. The results showed that the optimization formula for cultivation of *Pleurotus eryngii* was 30% of sawdust, 18% of corn-cob, 25% ginger straw, 20% bran, 1% corn flour, 4% soybean, 1% gesso and 1% of superphosphate.

Key words: *Pleurotus eryngii*; ginger straw; rotation-orthogonal combination design; optimization formula