

不同微量元素对平菇菌丝生长的影响

刘拴成¹,穆俊祥¹,曹兴明¹,张翠英²

(1. 集宁师范学院 生物系, 内蒙古 集宁 012000; 2. 北京师范大学 集宁附属中学, 内蒙古 集宁 012000)

摘要: 为了促进平菇栽培生产, 以平菇菌种为试验材料, 通过 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 三种微量元素进行三因素四水平正交设计共产生 16 种试验组合。采用固体平板和液体摇瓶培养的方法培养平菇菌种, 测定菌丝日平均增长量、菌丝体干重、过氧化物酶活性, 并通过正交试验设计进行直观分析。结果表明: 综合考虑 3 个因素, 然后针对不同因素的不同指标所对应的最优组合条件, 通过单个指标的直观分析并结合实际进行综合平衡分析, 最终得到综合的优方案, 即 Fe^{2+} 20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 Mn^{2+} 0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 Zn^{2+} 20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的组合。

关键词: 平菇; 微量元素; 菌丝体; 过氧化物酶

中图分类号: S646.1⁺4 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2017)04-0103-06 DOI: 10.11942/j.issn1002-2767.2017.04.0103

平菇(*Pleurotus ostreatus*) 又名侧耳, 隶属于真菌门担子菌纲伞菌目白菇科侧耳属^[1], 其肉肥质嫩, 味道鲜美, 产量高, 因此平菇的栽培相当广泛。平菇含有 18 种氨基酸, 营养丰富, 而且所含的蛋白多糖可以改善人体的新陈代谢、具有增强机体免疫功能等食疗保健作用。利用深层培养的真菌菌丝体来富集和转化微量元素^[2], 使人们在食用菌丝体产品的同时达到摄入微量元素的目的,

近年来, 已有诸多富集微量元素的研究与应用^[3-4]。平菇含有多种养分及激素、菌糖、甘露醇糖等, 富含各种营养物质, 每 100 g 干品中含有蛋白质 20~23 g, 而且氨基酸成分比较齐全, 矿物质含量也十分丰富, 经常食用平菇可以改善人体的新陈代谢。平菇是一种腐生性真菌, 在其生长发育过程中所需要的营养物质完全依靠培养料提供, 其中 C、N 是必要的营养物质, 其次是 K、Mg、P、Ca 等大量元素, 另外 Fe、Zn、Mn 等微量元素也是平菇生长发育不可缺少的营养物质, 如果严重缺少某种微量元素就会导致微量元素缺乏症, 从而影响菌丝体生长发育和子实体的分化形成, 将直接影响出菇的质量^[5-6]。

收稿日期: 2017-02-04
第一作者简介: 刘拴成(1979-), 男, 内蒙古自治区四子王旗人, 硕士, 讲师, 从事园艺方面教学及相关研究。E-mail: Lsc2009jntc@163.com。

Determination of Anthocyanins Content in Black Rice Feremented Beverages by pH Differential Method

LU Ming, FU Xin, CHI Ji-jie

(Food and Processing Research Institute of Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shengyang, Liaoning 110161)

Abstract: In order to setabllish and optimize the suitable determination method for anthocyanins content in the black rice fermented beverages, pH differential method was applied to the determination of anthocyanins content in the black rice fermented beverages, and the optimal determination conditions were determined. The results showed that measuring wavelength was identified as 510 nm, pH was 1.0 and 4.5 when determined the absorbance, the equilibrium temperature was 30 °C, balancing in the buffer solution of pH 1.0 for 70 min, and balancing in the buffer solution of pH 4.5 for 30 min, the anthocyanins content in the black rice fermented beverages was 119.6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, which was determined by pH differential method. The method of operation was simple and convenient, and it could be used for quantitative analysis of anthocyanins in black rice fermented beverages.

Keywords: black rice fermented beverages; anthocyanins; pH differential method

陶文文等采用固体平板和液体摇瓶培养的方法培养平菇^[7],通过测定平菇菌丝的长势、菌丝体干重、胞内多糖、过氧化物酶活性等研究 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Mo(VI) 4 种元素对平菇菌丝生长的影响。研究表明:液体培养基中添加 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Zn^{2+} 能促进菌丝分枝生长,从而提高菌丝体干重;在固体培养基中 Mo(VI) 在试验所选的 4 种浓度范围内都促进菌丝的伸长,其它 3 种元素对菌丝的日增长有不同程度的抑制作用。王晓光等实验^[8]研究了利用深层培养的平菇菌丝体进行富集、转化微量元素锌的过程中,锌离子在不同浓度情况下对菌丝体生长的影响,并对各处理组的过氧化物酶的活性进行了具体的分析。研究的结果表明, Zn^{2+} 浓度在 $10 \sim 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时对菌丝体生长有促进作用,其中 Zn^{2+} 浓度为 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时促进作用最为明显;当 Zn^{2+} 浓度 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上时对菌丝体的生长有抑制作用,则过氧化物酶活性均低于对照组。史留功等试验探讨了平菇在不同含量的微量元素中对平菇菌丝体和子实体生长的特性及其产量的影响^[9]。结果显示: Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 的浓度在 $0.1 \sim 50.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时对平菇菌丝体和子实体的生长及产量有较好地促进作用; Mo 的浓度在 $1 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 Mn^{2+} 的浓度在 $10 \sim 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时对菌丝体和子实体的生长有促进作用;B 在 $0.01 \sim 500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 不同浓度下则效果不甚显著。赵岩等试验^[10]表明:在液体培养基中添加 $150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Fe^{2+} ,平菇菌丝体中铁的含量最高为 $1.4 \text{ mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ 干重;在液体培养基中添加 Fe^{2+} 浓度为 100 和 $150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平菇菌丝体吸收铁的效率为 2.0%,是最高的;固体培养基浓度为 $125 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Fe^{2+} 时能明显促进菌丝体的生长;申进文等^[11]研究比较了 7 种矿质元素在不同浓度下对平菇菌丝生长的影响,探明了钙、镁、硼、钾、铜、锰、锌七种矿质元素最适合平菇菌丝生长的浓度,同时找出了 7 种矿质元素对平菇菌丝生长受抑制的浓度的界限,为优化培养平菇菌种提供参考依据。

本研究初步探讨 Fe 、 Mn 、 Zn 等微量元素对平菇菌丝体生长发育的影响,旨在找到最适合平菇菌丝生长的微量元素种类及其浓度,以便为平菇栽培生产和加工方面提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试新鲜平菇来自集宁区惠民园农贸市场。

药品与试剂主要有: Zn^{2+} ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、 Mn^{2+} ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、 Fe^{2+} ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、马铃薯、葡萄糖、琼脂、酒精、浓度 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的磷酸缓冲液(取 17.9 g 的 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和 7.8 g 的 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 混合加 1 000 mL 的水)、反应混合液(浓度 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ pH 6.0 的磷酸盐缓冲液 50 mL 加入 0.019 mL 愈创木酚、0.028 mL H_2O_2)。

仪器设备主要有:高压灭菌锅、接种工具、恒温培养箱、培养皿、煮锅、电热炉、超净工作台、试管、酒精灯、天平、烧杯、玻璃棒、封口膜、三角瓶、移液枪、分光光度计等。

1.2 方法

1.2.1 培养基配置 将马铃薯洗净,然后去皮,挖去牙眼,切成蚕豆块的大小,称取 200 g,把 200 g 的马铃薯块放在 500 mL 的水中煮 30 min 后取出,用 4~6 层的纱布过滤去马铃薯渣而取其滤汁。然后将马铃薯汁加水至 1 000 mL 再放进 20 g 琼脂继续加热融化(若是配制相应的液体培养基,则不需加琼脂),最后加入 20 g 的葡萄糖。然后,按照 Fe^{2+} (0、20、40、80 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、 Mn^{2+} (0、20、40、80 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、 Zn^{2+} (0、20、40、80 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 进行三因素四水平的正交设计,通过 SPSS 软件设计后,最终形成 16 个不同浓度不同微量元素的处理组合(见表 1),各处理重复 3 次。然后把它们分别装到 250 mL 三角瓶中(若是液体培养基,每个三角瓶装 100 mL 相对应的浓度的溶液),贴上标签,灭菌(121°C , 30 min)。

将灭菌的固体培养基趁热倒入培养皿中,每皿 25 mL 贴上标签。本次试验共设 16 个不同的处理(见表 1),每个处理 3 次重复,共 48 个培养皿。

1.2.2 平菇菌种的分离 采用子实体组织分离法进行菌种分离。种菇选择:一般选择在适宜出菇期出菇早、出菇整齐、特征典型、无病虫害、产量高的栽培袋,从中选择菌肉肥厚、大小适中、颜色正常、尚未散孢、长至七八分成熟的优质菇作种菇。种菇消毒:用 75% 酒精浸泡或擦拭,无菌水冲洗,吸干表面的水分。切块接种:点燃酒精灯,将分离种菇沿菌柄中心纵向掰成两半,用解剖刀

在菌盖和菌柄交界处划成田字形,用经灼烧灭菌后的接种铲在菌柄与菌盖交界处取黄豆粒大一小块菌肉组织,接在 PDA 培养基上,然后用酒精灯火焰对试管口和棉塞进行灭菌处理,再塞上棉塞。培养纯化:25 ℃ 恒温培养箱内,培养 2~3 d 后,长出白色绒毛状无杂菌的菌丝体,4~5 d 通过筛选,挑出菌丝洁白、清晰、生长整齐、健壮的少量菌丝接种到新的斜面试管中继续培养,7~10 d 菌丝长满整个斜面,即为母种。

表 1 三因素四水平正交设计

Table 1 Orthogonal design of three factors and four levels			
组合 Combination	Fe ²⁺ / (mg·L ⁻¹) (A)	Mn ²⁺ / (mg·L ⁻¹) (B)	Zn ²⁺ / (mg·L ⁻¹) (C)
1	20(2)	20(2)	80(4)
2	20(2)	0(1)	20(2)
3	80(4)	0(1)	80(4)
4	40(3)	20(2)	0(1)
5	40(3)	0(1)	40(3)
6	0(1)	40(3)	80(4)
7	0(1)	0(1)	0(1)
8	0(1)	80(4)	20(2)
9	40(3)	80(4)	80(4)
10	0(1)	20(2)	40(3)
11	80(4)	20(2)	20(2)
12	80(4)	80(4)	40(3)
13	20(2)	80(4)	0(1)
14	40(3)	40(3)	20(2)
15	80(4)	40(3)	0(1)
16	20(2)	40(3)	40(3)

1.2.3 平菇母种转管 将分离纯化好的母种在超净工作台上,通过无菌操作把母种扩繁出多管,以备后用。接种前将斜面试管用 75%酒精抹擦,酒精灯旁用拿接种铲的手指间拔下棉塞向外夹着,火焰轻轻烧过管口并转管,已灭菌后稍凉的接种铲先在母种斜面上纵向切成 2 mm 宽的长条,再用接种铲沿斜面的水平方向深约 2~3 mm 铲离,然后用接种锄将斜面横向切成宽 2 mm、长 4 mm 的小块。将一小块菌种接入空白斜面培养基内,菌种块放在空白斜面的中部进行培养。把管口烧过,塞上棉塞。以上操作在无杂菌条件下进行。离开酒精灯,写上标签。新接上的菌种立即进行 25 ℃ 恒温培养。直至菌丝长满斜面即为

菌种成熟。

1.2.4 PDA 平板上培养平菇菌种和接种 在超净工作台上,通过无菌操作从已培养好的平菇母种试管中,用环状接种针在火焰旁取少量菌块,迅速送入 PDA 平板中央进行培养,待用。

1.2.5 接种 待菌丝长满整个培养皿,用无菌打孔器打成大小相同的菌块,接种到提前倒好的不同微量元素不同浓度的 PDA 平板和相应的液体培养基上。固体平板放置在 25 ℃ 恒温培养箱中倒置避光培养,液体培养基放置在室温下,160 r·min⁻¹ 摇床上振荡培养。

1.2.6 微量元素对平菇菌丝生长的影响 采用菌丝生长速率法^[8],用无菌打孔器取直径为 0.4 cm 大小的菌块分别置于 16 个处理的平板中央,在 25 ℃ 下培养箱中培养 9 d,第 3 天开始测量,每隔 3 d 测量 1 次菌落直径并观察菌丝的长势情况。每个处理 3 次重复。计算菌丝日平均生长量: $P=(v_1-v_0)/8$ (式中: v_0 为对照菌落直径; v_1 为第 9 天菌落直径)。

1.2.7 微量元素对平菇菌丝生物量的影响 菌丝生物量的测定:用打孔器取在 PDA 培养基上生长了 10 d 的长势基本相同、洁白、浓密的直径为 4 mm 的菌饼,立即接种于不同盐浓度的 PD 液体培养基中,每瓶接 1 个菌饼,室温,160 r·min⁻¹ 的摇床上振荡培养 9 d。将培养液中的菌丝体过滤,用去离子水或蒸馏水多次冲洗,置于 70 ℃ 烘箱烘至成干,干燥器内冷却后拿出在电子天平上称量菌丝体干重。

1.2.8 微量元素对平菇菌丝过氧化物酶活性的影响 摇床振荡培养 9 d 后将每个处理的 3 个三角瓶中的培养基混合取样,室温、4 000 r·min⁻¹ 离心 15 min,取上清液,4 ℃ 低温保存备用。取反应混合液 4 mL(浓度 0.05 mol·L⁻¹ 磷酸盐缓冲液 50 mL,加入愈创木酚 0.019 mL、H₂O₂ 0.028 mL)与 1 mL 粗酶液混合,28 ℃ 水浴保温 30 min 后于 470 nm 处测 OD 值。

酶活力以每毫升样品与底物反应 30 min 内改变 0.01 个光密度值为一个活力单位(U)。

过氧化物酶活性($U \cdot (g \cdot min)^{-1}$) = $(\Delta D_{470} \times V_t) / (W \times V_s \times 0.01 \times t)$

式中: ΔD_{470} 表示反应时间内吸光度变化;W 表示菌丝鲜重(g);t 表示反应时间(min); V_t 表示提取酶液总体积(mL); V_s 表示测定时取用酶液总体积(mL)。

2 结果与分析

2.1 Fe²⁺、Mn²⁺、Zn²⁺ 对平菇菌丝生长的影响

通过直观分析法对此次正交试验相关指标进行分析验证(见表 2)。

表 2 平菇菌丝日平均生长量正交试验结果
Table 2 The orthogonal test results of average daily increment of *Pleurotus ostreatus* hypha

组合 Combination	A Fe ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	B Mn ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	C Zn ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	日平均增长量/cm Average daily increment
1	2(20)	2(20)	4(80)	0.70
2	2(20)	1(0)	2(20)	0.80
3	4(80)	1(0)	4(80)	0.82
4	3(40)	2(20)	1(0)	0.54
5	3(40)	1(0)	3(40)	0.73
6	1(0)	3(40)	4(80)	0.65
7	1(0)	1(0)	1(0)	0.87
8	1(0)	4(80)	2(20)	0.76
9	3(40)	4(80)	4(80)	0.74
10	1(0)	2(20)	3(40)	0.82
11	4(80)	2(20)	2(20)	0.74
12	4(80)	4(80)	3(40)	0.64
13	2(20)	4(80)	1(0)	0.74
14	3(40)	3(40)	2(20)	0.69
15	4(80)	3(40)	1(0)	0.66
16	2(20)	3(40)	3(40)	0.67
K1	3.10	3.21	2.80	
K2	2.91	2.80	2.99	
K3	2.70	2.67	2.86	
K4	2.86	2.88	2.91	
k1	0.78	0.80	0.70	
k2	0.73	0.70	0.75	
k3	0.68	0.67	0.71	
k4	0.72	0.72	0.73	
R	0.40	0.54	0.13	
因素主→次				B>A>C
最优组合条件				A1B1C2

试验考察指标菌丝平均日增长量越大越好,由表 2 可以直接看出 7 号试验组合条件 A1B1C1 的试验结果值最大,是 16 种组合中效果最好的。但这一结果并不一定是 A、B、C 各因素水平的最佳组合,为了寻求最佳的搭配条件,还需进一步计算分析。通过正交试验数据计算出各因素影响的主次程度,找出最佳搭配条件,影响菌丝日平均增

长量的主次因素为 B>A>C,经验证试验得出,最佳组合条件为 B1A1C2。

2.2 Fe²⁺、Mn²⁺、Zn²⁺ 对平菇菌丝生物量的影响

由表 3 可以直接看出 2 号试验组合条件 A2B1C2 的试验结果值最大,是 16 种组合中效果最好的,同时通过正交试验数据计算出各因素影响的主次程度,找出最佳搭配条件,影响菌丝生物量的主次因素为 A>B>C,最佳组合条件为 A2B1C2。

表 3 平菇菌丝干重正交试验结果
Table 3 The orthogonal test results of dry weight of *Pleurotus ostreatus* hypha

组合 Combination	A Fe ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	B Mn ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	C Zn ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	菌丝干重/g Dry weight of hypha
1	2(20)	2(20)	4(80)	0.0843
2	2(20)	1(0)	2(20)	0.1783
3	4(80)	1(0)	4(80)	0.1156
4	3(40)	2(20)	1(0)	0.0543
5	3(40)	1(0)	3(40)	0.0251
6	1(0)	3(40)	4(80)	0.0679
7	1(0)	1(0)	1(0)	0.0580
8	1(0)	4(80)	2(20)	0.0711
9	3(40)	4(80)	4(80)	0.0403
10	1(0)	2(20)	3(40)	0.0405
11	4(80)	2(20)	2(20)	0.0608
12	4(80)	4(80)	3(40)	0.0991
13	2(20)	4(80)	1(0)	0.0671
14	3(40)	3(40)	2(20)	0.0549
15	4(80)	3(40)	1(0)	0.0420
16	2(20)	3(40)	3(40)	0.0525
K1	2.38	3.77	2.21	
K2	3.92	2.49	3.65	
K3	1.75	2.17	2.17	
K4	3.18	2.78	3.18	
k1	0.59	0.94	0.55	
k2	0.98	0.62	0.91	
k3	0.44	0.54	0.54	
k4	0.79	0.69	0.79	
R	2.17	1.60	1.48	
因素主→次				A>B>C
最优组合条件				A2B1C2

2.3 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 对平菇菌丝 POD 活性的影响

由表 4 可以直接看出 2 号试验组合条件 A2B1C2 的试验结果值最大,是 16 种组合中效果最好的,同时通过正交试验数据计算出各因素影响的重要程度,找出最佳搭配条件,影响菌丝 POD 活性的主次因素为 $A>C>B$,并经过验证试验得出,最佳组合条件为 A2B2C2。

表 4 平菇菌丝 POD 活性正交试验结果
Table 4 The orthogonal test results of POD activity of *Pleurotus ostreatus* hypha

组合 Combination	A Fe^{2+} / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	B Mn^{2+} / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	C Zn^{2+} / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	POD 活性 ($\text{U}\cdot(\text{g}\cdot\text{min})^{-1}$) POD activity
1	2(20)	2(20)	4(80)	118.20
2	2(20)	1(0)	2(20)	131.85
3	4(80)	1(0)	4(80)	48.98
4	3(40)	2(20)	1(0)	57.23
5	3(40)	1(0)	3(40)	25.43
6	1(0)	3(40)	4(80)	129.90
7	1(0)	1(0)	1(0)	41.40
8	1(0)	4(80)	2(20)	72.15
9	3(40)	4(80)	4(80)	32.85
10	1(0)	2(20)	3(40)	47.85
11	4(80)	2(20)	2(20)	50.18
12	4(80)	4(80)	3(40)	75.15
13	2(20)	4(80)	1(0)	49.65
14	3(40)	3(40)	2(20)	53.475
15	4(80)	3(40)	1(0)	38.475
16	2(20)	3(40)	3(40)	38.025
K1	291.30	247.65	186.75	
K2	337.73	273.45	307.65	
K3	168.98	259.88	186.45	
K4	212.78	229.80	153.92	
k1	72.83	61.91	46.69	
k2	84.43	68.36	76.91	
k3	42.24	64.97	46.61	
k4	53.19	57.45	38.48	
R	168.95	43.65	153.75	
因素主→次	A>C>B			
最优组合条件	A2C2B2			

3 结论与讨论

3.1 结论

根据单个指标的直观分析并结合实际进行综合平衡分析,由表 2、表 3、表 4 可以看出,对于不同因素所测量的不同指标而言,因素影响的重要程度是不一样的,而对平菇菌丝日平均增长量来说 A、B 两因素极差 R 相差不大,所以综合考虑 3 种因素所测量的 3 个指标影响的主次顺序(主→次)为 $A>B>C$ 。

不同指标所对应的最优组合条件也是不同的,但是通过综合平衡分析可以得到综合的优方案。针对本次试验具体平衡过程:

因素 A:对于生物量和 POD 活性指标都是取 A2 较好,而且都是它们的主要因素,在确定最优水平时应重点考虑;对于菌丝日平均增长量则是取 A1 较好,从 K1、K2、K3、K4 数据中可以看出 A 取 A1、A2 时对菌丝日平均增长量的影响不大,而且从极差可以看出, A 为次要因素。所以根据多数倾向和 A 因素对不同指标的重要程度,选取 A2 即 Fe^{2+} 20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

因素 B:对于前两个指标都是取 B1 好,其中试验考察菌丝日平均增长量时 B 为主要的影响因素,考察菌丝生物量时为次要的影响因素,在确定优水平时应重点考虑;对于考察菌丝 POD 活性指标时,则取 B2 好,从 K1、K2、K3、K4 数据中可以看出 B 取 B1、B2 时对菌丝 POD 活性的影响不大,因为 B 是影响这个指标的最小因素。所以根据多数倾向和 B 因素对不同指标的重要程度,选取 B1 即 Mn^{2+} 0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

因素 C:对于 3 个指标来说,都是以 C2 为最佳水平,所以取 C2 即 Zn^{2+} 20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

综合上述的分析,最优组合条件为 A2B1C2,即 Fe^{2+} 20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 Mn^{2+} 0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 Zn^{2+} 20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

3.2 讨论

微量元素是食用菌细胞生长代谢需要的元素,通过 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 三种微量元素进行三因素四水平正交设计共产生 16 种试验组合,试验结果根据单个指标的直观分析并结合实际进行综合平衡分析,可以看出,对于不同的指标而言,因素影响的主次顺序是不一样的,从试验结果可以直观地看出 0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Fe^{2+} 、0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Mn^{2+} 、20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Zn^{2+} 组合,20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Fe^{2+} 、0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Mn^{2+} 、20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Zn^{2+} 组合及 20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Fe^{2+} 、

20 mg·L⁻¹ Mn²⁺、20 mg·L⁻¹ Zn²⁺ 分别为菌丝日平均增长量、生物量及 POD 活性的最佳组合,三种元素的共同作用能够促进平菇菌丝的生长,说明三个因素在四个浓度水平之间存在差异;3 种微量元素中,除 Mn²⁺ 影响效应小外,其余两种微量元素表现出低浓度促进菌丝生长及发酵液的过氧化物酶活性高浓度则抑制相关测定指标的效应。

不同的微量元素及同一元素的不同浓度对平菇的菌丝生长速率、干重、过氧化物酶的活性、等影响程度各不相同^[12]。低浓度时微量元素通过促进真菌体内的酶活性或加速某些生理生化反应,促进菌丝的生长及发酵液活性。但随着浓度的升高,激活的代谢系统也加速了微量元素的进入,又会抑制真菌的代谢活动,对真菌产生毒害作用^[13-14]。

参考文献:

- [1] 杨新美. 中国食用菌栽培学[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 2-3.
- [2] 赵岩. 锌在平菇中的富集及对平菇生长的影响[J]. 赤峰学院学报: 自然科学版, 2010(7): 21-23.
- [3] 康德灿, 张光勇. 金针菇平菇菌丝体富锗水培试验[J]. 食用菌学报, 1998(2): 11-14.
- [4] 莫保庆. 富集金针菇中锌生物利用的研究[J]. 营养学报,

1990, 12(4): 378-382.

- [5] 王宜磊. 锌对平菇生长的影响[J]. 食用菌学报, 1994, 16(5): 12-14.
- [6] 孟丽. 铁对食用菌菌丝体生长发育的影响[J]. 中国食用菌, 2004(3): 45.
- [7] 陶文文, 王甜甜, 王世强. 微量元素对平菇菌丝生长及酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(30): 18472-18474.
- [8] 王晓光, 张丽辉, 刘海音. Zn²⁺ 浓度与平菇菌丝体的生长[J]. 长春师范学院学报: 自然科学版, 2004, 23(1): 49-50.
- [9] 史留功, 樊金献, 朱自学. 微量元素对平菇生长的影响[J]. 农业与技术, 2007, 27(6): 84-86.
- [10] 赵岩, 何婷. 铁在平菇中的富集及其生长的影响[J]. 赤峰学院学报: 自然科学版, 2010, 26(3): 134-137.
- [11] 申进文, 贾身茂. 矿质元素对平菇菌丝最适量的研究[J]. 食用菌, 1991(3): 18-18.
- [12] 王敏. 微量元素对双孢蘑菇菌丝生长的影响[J]. 资源开发与市场, 2010(7): 579-582.
- [13] 黄艺, 陶澍, 姜学艳, 等. 过量铜对 4 种外生菌根真菌的生长、碳氮和铜积累的影响[J]. 微生物学报, 2002, 42(6): 737-744.
- [14] Rogelio Garciduenas Pina, Carlos Cervanter. Microbial interactions with aluminium [J]. Bio Metals, 1996, 9: 311-316.

Effect of Different Trace Elements on Mycelium Growth of *Pleurotus ostreatus*

LIU Shuan-cheng¹, MU Jun-xiang¹, CAO Xing-ming¹, ZHANG Cui-ying²

(1. Department of Biology, Jining Normal University, Ulanqab, Inner Mongolia 012000; 2. Jining High School Affiliated to Beijing Normal University, Ulanqab, Inner Mongolia 012000)

Abstract: In order to promote cultivation production of *Pleurotus ostreatus*, taking *Pleurotus ostreatus* strains as test material, through three kinds of trace elements in Fe²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺ by orthogonal design with three factors and four levels produced a total of 16 kinds of experimental combinations. With a solid plate and liquid shake flask culture method for cultivation of *Pleurotus ostreatus* and the average rate of growth, dry weight and peroxidase activity of mycelium were measured and it was visual analysis by orthogonal test design. The results showed that comprehensive optimal scheme was Fe²⁺ 20 mg·L⁻¹, Mn²⁺ 0 mg·L⁻¹, Zn²⁺ 20 mg·L⁻¹ through the general equilibrium analysis and the actual situation with different index corresponding to the optimal combination conditions.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*; trace element; mycelium; peroxidase