

矿质元素对茶树菇液体菌种菌丝生长的影响

覃宝山^{1,2,3}, 赵媛娟⁴, 农欣佩^{1,2}, 覃勇荣^{1,2,3*}

¹河池学院化学与生物工程学院, 广西 河池

²广西蚕桑生态学与智能化技术应用重点实验室, 河池学院, 广西 河池

³广西现代蚕桑丝绸协同创新中心, 河池学院, 广西 河池

⁴广西合山市农村农业局, 广西 来宾

收稿日期: 2024年7月10日; 录用日期: 2024年8月8日; 发布日期: 2024年8月15日

摘要

采用摇床培养的方法, 以菌丝球的生物量为评价指标, 通过单因素试验和正交试验, 说明Zn、Fe、Mn、Cu四种矿质元素对茶树菇液体菌丝生长的影响。结果表明: Zn、Fe、Mn、Cu四种矿质元素对茶树菇液体菌种菌丝生长具有促进作用, 其中Zn对茶树菇菌丝生长的影响最明显, 其次为Fe、Mn、Cu。这四种矿质元素可以通过单独添加发挥作用, 也可以混合添加共同作用, 混合添加比单独添加效果更好, 促进茶树菇菌丝生长的最优组合是0.25 g/L ZnSO₄·7H₂O, 0.30 g/L FeSO₄·7H₂O, 0.20 g/L MnSO₄·H₂O, 0.15 g/L CuSO₄·5H₂O。

关键词

矿质元素, 茶树菇, 液体菌种, 菌丝生长

Effect of Mineral Elements on the Mycelial Growth of Liquid *Agrocybe aegerita* Strains

Baoshan Qin^{1,2,3}, Yuanjuan Zhao⁴, Xinpei Nong^{1,2}, Yongrong Qin^{1,2,3*}

¹School of Chemistry and Bio-Engineering, Hechi University, Hechi Guangxi

²Guangxi Key Laboratory of Sericulture Ecology and Applied Intelligent Technology, Hechi University, Hechi Guangxi

³Guangxi Collaborative Innovation Center of Modern Sericulture and Silk, Hechi University, Hechi Guangxi

⁴Agriculture and Rural Bureau of Heshan City, Laibin Guangxi

Received: Jul. 10th, 2024; accepted: Aug. 8th, 2024; published: Aug. 15th, 2024

Abstract

Using the shaking table cultivation method and using the biomass of mycelium balls as the evalua-

*通讯作者。

文章引用: 覃宝山, 赵媛娟, 农欣佩, 覃勇荣. 矿质元素对茶树菇液体菌种菌丝生长的影响[J]. 农业科学, 2024, 14(8): 863-871. DOI: 10.12677/hjas.2024.148107

tion index, single factor experiments and orthogonal experiments were conducted to illustrate the effects of four mineral elements, Zn, Fe, Mn, and Cu, on the liquid mycelial growth of *Agrocybe aegerita*. The results showed that four mineral elements, Zn, Fe, Mn, and Cu, had a promoting effect on the mycelial growth of liquid *Agrocybe aegerita* strains. Among them, Zn had the most significant effect on the mycelial growth of *Agrocybe aegerita*, followed by Fe, Mn, and Cu. These four mineral elements can exert their effects by adding them alone or by mixing them together. The mixed addition has a better effect than adding them alone. The optimal combination to promote the mycelial growth of *Agrocybe aegerita* is 0.25 g/L ZnSO₄·7H₂O, 0.30 g/L FeSO₄·7H₂O, 0.20 g/L MnSO₄·H₂O, and 0.15 g/L CuSO₄·5H₂O.

Keywords

Mineral Element, *Agrocybe aegerita*, Liquid Spawn, Mycelial Growth

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

茶树菇(*Agrocybe aegerita*)属于真菌界,担子菌门,层菌纲,伞菌目,粪锈伞科,田头菇属,又称柱状田头菇、杨树菇、柳松菇等[1]-[3]。茶树菇盖嫩柄脆,味纯清香,口感极佳,营养丰富,必需氨基酸含量高,是一种高蛋白、低脂肪的绿色食品,具有补肾滋阴、健脾胃、提高人体免疫力的功效,因此深受消费者的青睐,市场需求量大,种植热度也逐年增加[3] [4]。随着科技的进步,食用菌的生产模式和生产工艺发生重大变革,出现了工厂化生产。固体菌种已满足不了工厂化生产的需求,液体菌种具有生产周期短,菌丝发育点多,接种后菌丝迅速蔓延,菌龄整齐,菌丝繁殖快等优点,用于食用菌生产,可以简化生产工艺,缩短生产周期,在工厂化生产中能大幅度提高生产效率[1] [5],因此,食用菌产业对优质的液体菌种需求更加紧迫。当前对液体菌种的生产 and 生长机理的研究热度越来越高,近年来,一些学者对矿质元素影响食用菌液体菌种菌丝生长进行了研究,发现一些矿质元素对食用菌菌丝生长具有促进作用[6]-[9],此外,食用菌对矿质元素也具有富集作用,在一定的浓度范围内,食用菌菌丝体对铁离子有较强的富集能力[10]。运用缺素培养法研究,发现矿质元素铁、钴、硼、锰、锌、铜对菌丝体生长都有影响,这些元素的缺乏,会延缓菌丝的生长速度[11]。当前,关于茶树菇液体菌种的研究,主要集中在培养基筛选、培养条件优化、成分鉴定方面[7] [8] [12] [13],关于矿质元素对茶树菇液体菌丝生长影响的研究相对较少。本实验采用摇床培养的方法,以菌丝球的生物量为标准,通过单因素试验和正交试验,探讨锌、锰、铁、铜 4 种矿质元素对茶树菇液体菌丝生长的影响,旨在为茶树菇的生长、生理研究及优质液体菌种生产提供理论参考和技术支持。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料

2.1.1. 供试菌株

从当地市场上购买新鲜的茶树菇,经组织分离后获得。

2.1.2. 供试药品

试验使用的矿质元素由 ZnSO₄·7H₂O, FeSO₄·7H₂O, CuSO₄·5H₂O, MnSO₄·H₂O 这四种化学药品提供,

离子浓度以相应试剂中的金属离子浓度进行计算，以上药品均为分析纯。

2.1.3. 仪器设备

手提式压力蒸汽灭菌器(YXQ-LS-18SI 型)、卧式圆形压力蒸汽灭菌器(WS-500YDA 型)、天呈恒温培养振荡器(TS-211C 型)、生化培养箱(SPX-150 型)、电热鼓风干燥箱(GZX-9030MBE 型)、超净工作台(SW-CJ-1F 型)等。

2.1.4. 培养基配方

(1) 固体培养基: 马铃薯(去皮) 200 g, 葡萄糖 20 g, 琼脂条 20 g, pH 自然, 水 1000 mL (PDA)。

(2) 液体培养基: 葡萄糖 20 g, 蛋白胨 2.0 g, KH_2PO_4 0.5 g, K_2HPO_4 1.0 g, MgSO_4 0.5 g, 水 1000 mL, pH 自然。

2.2. 试验方法

2.2.1. 母种制备

在无菌条件下, 将茶树菇子实体切成黄豆大小的组织块, 将组织块接入 PDA 斜面培养基上, 置于 25℃ 的培养箱中培养, 当菌丝长满培养基斜面时, 扩繁到新鲜灭好菌的 PDA 培养基中, 再次进行 25℃ 的培养, 菌丝长满培养基斜面后即供试母种。

2.2.2. 液体培养基制备

配制液体培养基: 在锅中放入 1000 mL 水, 将其煮沸后, 放入葡萄糖 20 g, 蛋白胨 2.0 g, KH_2PO_4 0.5 g, K_2HPO_4 1.0 g, MgSO_4 0.5 g, 待其充分溶解后, 分装到 250 mL 规格的锥形瓶中, 每瓶的装瓶量为 100 mL, 装好后放入卧式圆形压力蒸汽灭菌锅中高压灭菌 30 min, 灭菌结束后取出, 放在室内冷却至室温, 备用。

将装有液体培养基的锥形瓶和试管母种放在无菌超净工作台, 开紫外灯消毒 30 min, 把 2 粒 $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^3$ 的母种接入液体培养基, 在 33℃ 的培养箱中静置培养 24 h 后, 转移至摇床设定摇床转速 120 r/min、温度 33℃ 的条件下培养 4 d, 每天观察实验各个时间段中菌丝球的大小、均匀程度、数量、布满培养基等进行比较和记录, 培养结束后测定菌丝体干重, 试验设置三个重复, 选出最适合的培养基配方。

2.2.3. 摇床培养

将装有液体培养基的锥形瓶和试管母种放至无菌超净工作台, 开紫外灯消毒 30 min, 在无菌条件下挑取 4 块 0.5 cm^3 大小的固体菌种, 接种到灭好菌的液体培养基, 然后放到 25℃ 的恒温培养箱中, 静置培养 24 h 之后, 再放入恒温培养振荡器中进行摇床培养, 培养条件为 25℃、150 r/min 转速, 培养 7 d。

2.2.4. 单因素试验

Table 1. Design of mineral element concentration gradient

表 1. 矿质元素浓度梯度设计

添加物	浓度梯度 g/L							
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45

以锌、锰、铁、铜 4 种矿质元素为单因素，分别进行单因素试验，摇床培养条件为 25℃、150 r/min 转速，培养 7 d。在摇床转速，培养温度，接种量和装瓶量保持不变的情况下，在液体培养基中分别添加不同浓度的 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ， $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 进行培养，以不添加矿质元素为对照组进行对比试验，每个浓度进行 3 次重复，菌种接种量为 0.5 cm³ 大小的接种块 4 块。矿质元素浓度梯度设计见表 1。

2.2.5. 正交试验

从以上单因素试验中选出每种矿质元素对茶树菇菌丝生长影响最大的浓度范围，在这个浓度范围内，以菌丝球生物量为检测指标，选出三个水平设计正交试验，每个水平设计 3 个重复。在无菌条件下挑取 4 块 0.5 cm³ 大小的母种接种到灭好菌的液体培养基中，将接种好的液体菌种放到 25℃ 的恒温培养箱中，静置培养 24 h，然后放入恒温培养振荡器 25℃、150 r/min 的转速摇床培养 7 d。正交试验的因素和水平见表 2。

Table 2. Factors and levels of L₉ (3⁴) orthogonal experiment
表 2. L₉ (3⁴) 正交试验的因素和水平

水平	因素			
	A/ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (g/L)	B/ $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (g/L)	C/ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (g/L)	D/ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g/L)
1	0.20	0.10	0.20	0.10
2	0.25	0.20	0.25	0.15
3	0.30	0.30	0.30	0.20

2.3. 相关指标的说明和测量

本试验通过对菌丝球的数量、直径、均匀度和生物量等方面来判断菌丝的生长状况是否良好，菌丝球的数量越多、越均匀，说明菌丝的生长状况越好，生物转化率越高，直径小于 2 mm 为优[14]。

2.3.1. 菌丝球数量测定

用胶头滴管取一滴培养液加入培养皿中，用水稀释，用放大镜数出个数，再换算出 1 mL 培养液中菌丝球个数(1 mL 按 20 滴计算) [15]，菌丝球数量等级分化见表 3。

Table 3. Differentiation of the number and grade of filamentous spheres
表 3. 菌丝球数量等级分化

菌丝球数量(粒/mL)	等级
1~100	A
100~300	B
300~500	C
>500	D

2.3.2. 菌丝球直径大小的测量

培养结束后，取 10 mL 培养液放入培养皿中，加水稀释 5 倍。在培养皿中随机选取 20 个菌球排成一排，用直尺测量其长度后取平均值[16]，每次测量三遍。

2.3.3. 菌丝球均匀度指标

培养结束后，根据菌丝球直径及密度大小，采用肉眼目测的方法确定菌丝的均匀度。用“+”号表示

均匀度, “+”代表均匀度较差, “++”代表均匀度良好, “+++”代表均匀度最佳[17]。

2.3.4. 菌丝球生物量的测量

培养结束后, 将培养液用 4 层纱布过滤, 蒸馏水冲洗 3 次, 收集菌丝球, 将菌丝球放入培养皿中, 置于 60℃ 电热恒温鼓风干燥箱中烘干至恒重(烘干 2 h 后测量一次, 此后每隔 30 min 测量一次, 直至与上次测量的值相差不大于 2 mg 方为恒重), 用分析天平称量干重[18]。菌丝球净干重 = 烘干后的菌丝球和培养皿的重量 - 培养皿的重量。

3. 结果与分析

3.1. 单因素实验

3.1.1. 锌元素对茶树菇液体菌丝生长的影响

锌元素对茶树菇液体菌种菌丝生长影响的结果见表 4。

Table 4. Effects of zinc on liquid mycelial growth of *Agrocybe aegerita*

表 4. 锌元素对茶树菇液体菌丝生长的影响

序号	ZnSO ₄ ·7H ₂ O (g/L)	菌丝直径(mm)	菌丝球数量(g/mL)	均匀度	菌丝干重(g)
1	0.10	1.00~2.00	D	+++	1.77
2	0.15	1.00~2.45	B	++	1.79
3	0.20	1.00~2.00	B	++	1.81
4	0.25	1.00~2.50	D	+++	1.96
5	0.30	1.00~1.75	D	+++	1.78
6	0.35	1.50~3.00	B	+	0.93
7	0.40	2.00~3.50	A	++	0.78
8	0.45	2.00~4.00	B	+	0.33
CK	0	1.00~2.50	C	++	1.25

注: 用“+”号表示均匀度, “+”代表均匀度较差, “++”代表均匀度良好, “+++”代表均匀度最佳, 下同。

可以从表 4 中看出来, 当 Zn²⁺的添加浓度为 0.25 g/L 时, 菌丝球无论是直径大小、数量、均匀度还是生物量都达到最优水平, 菌丝球的生长发育水平最好且生物量与对照组相比增长了 0.71%。当 Zn²⁺的添加浓度在 0.1~0.3 g/L 范围内都对菌丝发育有一定的促进作用, 但是当 Zn²⁺的添加浓度达到 0.4 g/L 以上则出现明显抑制现象。锌在植物体内的主要功能之一是参与生长素(吲哚乙酸)代谢, 能促进吲哚和丝氨酸合成色氨酸, 而色氨酸是生长素的前身, 可以通过影响生长素的形成进而影响植物生长发育[19]。因此, 在茶树菇液体菌种中添加 Zn²⁺, 在一定程度上可以加快菌丝的生长速率。

3.1.2. 锰元素对茶树菇液体菌丝生长的影响

锰元素对茶树菇液体菌丝生长影响的情况见表 5。

从表 5 中可以看出, Mn²⁺添加量在 0.1~0.3 g/L 之间时, 对茶树菇菌丝生长均有促进作用, 且与对照组相比, 促进作用比较明显。其中, Mn²⁺的添加量为 0.3 g/L 时促进作用最为明显, 这是因为 Mn²⁺作为酶类的活化剂, 在茶树菇菌丝生产过程中, 能激活酶类活性, 从而加速菌丝生长和发育。当浓度达到 0.35 g/L 以上时, 茶树菇液体菌丝球的直径和数量即生长发育状况呈现下降趋势, 具体原因有待于进一步探讨。

Table 5. Effects of manganese on liquid mycelial growth of *Agrocybe aegerita***表 5.** 锰元素对茶树菇液体菌丝生长的影响

序号	MnSO ₄ ·H ₂ O (g/L)	菌丝直径(mm)	菌丝球数量(g/mL)	均匀度	菌丝干重(g)
1	0.10	1.5-2.5	D	+++	1.52
2	0.15	1.0~1.8	C	+++	1.65
3	0.20	1.0~2.0	D	++	1.78
4	0.25	1.0~2.2	C	++	1.36
5	0.30	1.0~2.5	D	+++	2.03
6	0.35	2.0~4.0	B	+	1.23
7	0.40	2.0~3.0	B	+++	0.97
8	0.45	2.5~4.0	A	+	0.81
CK	0	1.0~3.0	C	++	1.25

3.1.3. 铁元素对茶树菇液体菌丝生长的影响

铁元素对茶树菇液体菌丝生长影响的情况见表 6。

Table 6. Effects of iron on liquid mycelial growth of *Agrocybe aegerita***表 6.** 铁元素对茶树菇液体菌丝生长的影响

序号	FeSO ₄ ·7H ₂ O (g/L)	菌丝直径(mm)	菌丝球数量(g/mL)	均匀度	菌丝干重(g)
1	0.10	1.0~2.0	C	++	1.08
2	0.15	1.0~2.5	C	+++	1.75
3	0.20	1.0~3.0	D	+++	1.55
4	0.25	1.0~2.0	C	+++	1.85
5	0.30	1.0~1.8	D	+++	2.23
6	0.35	1.0~3.0	B	+	1.22
7	0.40	2.0~4.0	A	+	1.13
8	0.45	1.0~3.0	B	++	0.71
CK	0	1.0~3.0	C	++	1.25

表 6 表明, Fe²⁺添加量在 0.1 g/L 以下时, 对茶树菇菌丝生长的促进作用不太明显, 而添加量在 0.1~0.3 g/L 时, 对茶树菇的菌丝生长的促进作用明显大于对照组, 且浓度在 0.3 g/L 时, 菌丝球的直径、数量、均匀度和生物量最优。Fe²⁺作为某些重要的氧化-还原酶催化部分的组分, 在茶树菇液体发酵过程中起到十分重要的作用, 它参与了发酵过程中的氧化还原反应, 提高了反应过程中的氧化酶活性, 从而促进菌丝的生长发育。当 Fe²⁺的添加浓度超过 0.4 g/L 后, 出现了抑制现象, 原因也有待于进一步分析。

3.1.4. 铜元素对茶树菇液体菌丝生长的影响

铜元素对茶树菇液体菌丝生长影响的情况见表 7。

表 7 显示, 当 Cu²⁺的添加量在 0.10 g/L~0.20 g/L 时, 对茶树菇菌丝生长有微小的促进作用, 浓度为 0.10 g/L 时, 与其他浓度处理相比, 茶树菇菌丝直径、数量、均匀度和生物量相对较好, 但是当添加浓度达到 0.25 g/L 以上时, 茶树菇菌丝直径、数量、均匀度和生物量与对照组相比存在显著的差异。Cu²⁺在茶树菇菌丝生长的过程中, 作为酶的活化剂之一, 参与色素的合成。Cu 是食用菌生长必需的矿质元素,

理论上 Cu^{2+} 在食用菌生长发育过程中也能起到促进作用, 但是, 由于茶树菇对铜离子的敏感度高, 当吸收量达到一定浓度后, 就会产生毒害作用, 从而抑制菌丝生长[20]。

Table 7. Effects of copper on liquid mycelial growth of *Agrocybe aegerita*

表 7. 铜元素对茶树菇液体菌丝生长的影响

序号	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g/L)	菌丝直径(mm)	菌丝球数量(g/mL)	均匀度	菌丝干重(g)
1	0.10	1.0~2.0	C	+++	1.04
2	0.15	1.0~2.5	C	++	0.91
3	0.20	1.0~2.0	C	++	0.83
4	0.25	2.0~3.0	B	+	0.54
5	0.30	1.0~2.5	B	+	0.52
6	0.35	1.0~2.0	A	+	0.46
7	0.40	1.0~3.0	B	++	0.39
8	0.45	2.0~4.0	B	++	0.34
CK	0	1.0~3.0	C	++	1.25

3.2. 正交试验

正交试验结果见表 8。

Table 8. L_9 (3^4) Orthogonal test results

表 8. L_9 (3^4) 正交试验结果

试验编号	A/ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (g/L)	B/ $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (g/L)	C/ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (g/L)	D/ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (g/L)	菌丝球生物量 (g)
1	1	1	1	1	3.03
2	1	2	2	2	2.53
3	1	3	3	3	4.97
4	2	1	2	3	4.68
5	2	2	3	1	3.75
6	2	3	1	2	5.08
7	3	1	3	2	4.25
8	3	2	1	3	4.26
9	3	3	2	1	4.32
T1	4.07	2.73	3.2	2.31	4.09
T2	4.73	2.63	2.7	2.06	
T3	3.04	3.66	4.18	2.17	
K1	1.36	0.96	1.07	0.77	
K2	1.58	0.88	0.90	0.69	
K3	1.01	1.22	1.39	0.72	
R	0.57	0.34	0.49	0.08	

注: K 代表平均值, R 代表极差值。

从表 8 中可以看出, 这 4 种矿质元素中, Zn^{2+} 的极差值最大($R = 0.57$), 因此, 其对茶树菇菌丝生长

的影响最大, Cu^{2+} 对茶树菇菌丝生长的影响最小。4种矿质元素对茶树菇菌丝生长影响作用的大小顺序是 $\text{A} > \text{C} > \text{B} > \text{D}$, 即 $\text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$ 。促进茶树菇菌丝生长的最优组合是 $\text{A}_2 \text{B}_3 \text{C}_1 \text{D}_2$, 即这4种矿质元素的添加量为 $0.25 \text{ g/L ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $0.30 \text{ g/L FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $0.20 \text{ g/L MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $0.15 \text{ g/L CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。

矿质元素作为酶的活性成分和酶的活化剂之一, 在食用菌菌丝生长发育过程的作用机理是参与代谢, 其中 Zn 参与有机酸和其他中间代谢, Fe 和 Cu 参与细胞色素的合成, Mn 参与 TCA 循环和核酸合成[21], 通过这些代谢作用, 促进茶树菇菌丝的生长和发育。这四种矿质营养物质可以单独发挥作用, 也可以整合在一起共同作用, 正交试验结果表明, 混合添加比单一添加效果更好, 菌丝球生物量均明显高于单因素试验。

验证试验

为了验证正交试验结果的可靠性, 将正交试验所得的最佳矿质元素添加组合, 再次进行重复验证试验, 实验进行了3次重复, 以茶树菇菌丝生物量为标准取平均值, 测得生物量依次为 4.57 g , 5.33 g 、 4.93 g , 平均值为 4.94 g , 验证结果与试验结果相近, 由此可见试验结果的最优组合, 即添加量配方是可以确定的。

4. 讨论

许多相关研究结果表明, 矿质元素对食用菌菌丝和子实体生长具有重要的影响, 适当浓度的矿质元素对食用菌栽培具有增产效应, 本试验结果与之相符, 证明在食用菌液体菌种培养过程中适当添加矿质营养物质, 可以起到增产作用。因此, 在食用菌生产的过程中, 不仅要在培养基中添加一定量的碳源和氮源, 并调整适当的碳氮比, 还需要在培养基中添加一些大量元素和微量元素, 这些矿质元素的主要功能是作为食用菌菌丝细胞结构物质的组成部分, 或者是作为其参与各种生化反应的酶的组成部分及酶的激活剂[22]-[24]。 Fe 、 Mn 、 Cu 、 Zn 是人体必需的矿质元素, 对人体免疫功能的维护以及新陈代谢等生命活动均具有重要作用, 但是, 在生产实际中, 还要考虑食品安全问题。因为食用菌对矿质元素有富集作用, 过多添加矿质营养物质会导致富集作用的发生, 有些矿质元素如 Cu , 摄入过多则对人体有害, 因此在食用菌菌种生长过程中, 矿质营养物质的添加量要严格控制, 确保食品安全[25]-[29]。此外, 当添加的矿质营养物质超过一定浓度后, 出现了抑制菌丝生长现象[23], 其抑制菌丝生长的作用机理有待于进一步研究。

5. 结论

Zn 、 Fe 、 Mn 、 Cu 四种矿质元素对茶树菇液体菌种菌丝生长具有促进作用, 促进效果与添加量有关。其中, Zn 对茶树菇菌丝生长的影响最明显, 其次为 Fe 、 Mn 、 Cu 。这四种矿质元素可以通过单独添加发挥作用, 也可以混合添加共同作用, 混合添加比单独添加效果更好, 促进茶树菇菌丝生长的最优组合是 $0.25 \text{ g/L ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $0.30 \text{ g/L FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $0.20 \text{ g/L MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $0.15 \text{ g/L CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。低浓度的矿质营养物质能促进茶树菇菌丝的生长, 高浓度的则起抑制作用。

基金项目

河池市中央引导地方科技发展资金项目(河科 ZY230301), 桂西北地方资源保护与利用工程中心(桂教科研[2012] 9 号), 河池学院高层次人才科研启动费项目(XJ2018GKQ015, XJ2018GKQ016)。

参考文献

- [1] 吕作舟. 食用菌栽培学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

- [2] 常昌明. 食用菌栽培学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [3] 王贺祥, 刘庆洪. 食用菌栽培学[M]. 第2版. 北京: 中国农业大学出版社, 2014.
- [4] 陈新淇, 刘叶高, 黄书文, 等. 工厂化高产优质栽培茶树菇培养料配方试验[J]. 食用菌, 2022, 44(3): 31-33, 43.
- [5] 马银鹏, 姜威, 张丕奇, 等. 黑木耳液体发酵条件优化研究[J]. 食用菌, 2023, 45(1): 21-24.
- [6] 刘静雯, 黄亮, 班立桐, 等. 添加矿质元素对灵芝菌株 G8 液体培养产漆酶的影响[J]. 中国食用菌, 2021, 40(10): 59-63.
- [7] 刘敏, 卢红, 黄媛媛, 等. 茶树菇液体发酵条件研究[J]. 北方园艺, 2016(11): 142-144.
- [8] 刘明, 肖自添, 邱耀明, 等. 茶树菇液体菌种培养基、培养条件的筛选及其应用[J]. 中国食用菌, 2016, 35(4): 39-42.
- [9] 刘拴成, 穆俊祥, 曹兴明, 等. 不同微量元素对平菇菌丝生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2017(4): 103-108.
- [10] 朱清. 茶树菇香菇菌丝体富铁能力研究[J]. 食用菌, 2011, 33(1): 8-9.
- [11] 凌亚飞. 矿质元素、维生素、激素对柱状田头菇菌丝体生长的影响[J]. 浙江万里学院学报, 2000, 13(1): 28-32.
- [12] 赵金凤, 刘朝贵. 茶树菇富硒液体发酵培养基的优化[J]. 食用菌, 2018, 40(2): 21-24.
- [13] 暴增海, 邱传庆, 王增池, 等. 矿质元素对茶薪菇菌丝体生长影响的测定[J]. 北方园艺, 2009(5): 216-217.
- [14] 张翠霞, 孟庆国, 冯华, 等. 食用菌液体菌种在生产和使用中应注意的问题[J]. 中国食用菌, 2004, 23(4): 49-50.
- [15] 涂俊铭, 陈少英, 邱昌恩. 杨树菇液体培养基的筛选[J]. 食用菌, 2003(2): 26-27.
- [16] 董洪新, 王世东, 刘新海, 等. 杨树菇深层培养的初步研究[J]. 食用菌学报, 2003, 10(3): 22-25.
- [17] 闫永亮, 牛颜冰. 不同矿质元素对香菇生长发育影响的研究[J]. 现代农业科技, 2008(22): 11-12.
- [18] 孟庆国, 周建树, 赵杰, 等. 香菇液体菌种母种培养基的比较试验[J]. 食用菌, 2007(6): 34-36.
- [19] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [20] 李浪, 刘妮, 朱生亮, 等. 重金属铅胁迫对羊肚菌菌丝体生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(5): 237-243.
- [21] 欧胜平, 桂阳, 黄万兵, 等. 红托竹荪矿质元素和氨基酸需求特性研究[J]. 种子, 2022, 41(11): 108-118, 124.
- [22] 侯立娟, 林金盛, 刘少华, 等. 醋酸钠及复配4种矿物质对草菇菌丝生物量的影响[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(2): 228-235.
- [23] 刘秀明, 陈强, 邬向丽, 等. 国内外食用菌增产添加物研究进展[J]. 食用菌学报, 2018, 25(1): 120-125.
- [24] 李杰庆, 孙景, 李涛, 等. 食(药)用真菌矿质元素研究进展[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(5): 929-946.
- [25] 邢博, 张霁, 李杰庆, 等. ICP-MS 法测定云南省 8 种野生牛肝菌中矿质元素含量[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 89-94.
- [26] 曾维军, 杨玲, 王万坤, 等. 贵州 4 种主要栽培食用菌品质综合评价[J]. 中国食用菌, 2023, 42(3): 57-63.
- [27] 王北洪, 刘静, 姚真真, 等. 栽培食用菌重金属含量的测定及健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(2): 490-496.
- [28] 饶书恺, 邱树毅, 谢锋. 贵州省栽培食用菌重金属含量的测定及健康风险评估[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(18): 54-58.
- [29] 李维焕, 于兰兰, 程显好, 等. 两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1240-1248.