

铜对平菇生长发育、品质和铜含量的影响

孔维威<sup>1</sup>,卢娇娇<sup>2</sup>,孔维丽<sup>1</sup>,袁瑞奇<sup>1</sup>,韩玉娥<sup>1</sup>,段亚魁<sup>1</sup>,张玉亭<sup>1</sup>,康源春<sup>1\*</sup>

(1. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所,河南 郑州 450002;

2. 河南农业大学 生命科学学院,河南 郑州 450002)

**摘要:** 为了探明平菇对 Cu 胁迫的响应机制,研究了培养料中添加不同质量浓度 Cu 对平菇菌丝生长、原基诱导时间、产量、子实体品质和 Cu 含量的影响。结果表明,Cu 对平菇菌丝生长、原基诱导时间、产量、子实体氨基酸、蛋白质、粗脂肪含量的影响具有显著的浓度效应。Cu 质量浓度为 1 500 mg/kg 时,平菇菌丝生长速度最快,且原基比对照早 2 d 出现;Cu 质量浓度为 500 mg/kg 时,平菇产量(干质量)最高;Cu 质量浓度为 1 000 mg/kg 时,子实体氨基酸、蛋白质、粗脂肪含量均最高,分别为 16.00%、24.88%、2.34%。而子实体菌柄和菌盖中 Cu 含量随着培养料中 Cu 质量浓度(0~3 000 mg/kg)的升高而增加。

**关键词:** Cu; 平菇; 生长发育; 产量; 品质

**中图分类号:** S646.1<sup>+</sup>4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2017)02-0083-04

Effect of Copper on Growth and Development, Fruiting Body Quality and Copper Content of *Pleurotus ostreatus*

KONG Weiwei<sup>1</sup>, LU Jiaojiao<sup>2</sup>, KONG Weili<sup>1</sup>, YUAN Ruiqi<sup>1</sup>, HAN Yu'e<sup>1</sup>,  
DUAN Yakui<sup>1</sup>, ZHANG Yuting<sup>1</sup>, KANG Yuanchun<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resources and Environmental Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Mycelial growth, primordia formation, yield, fruiting body quality and copper content were studied under different concentrations of copper so as to explore the response mechanism to copper in *Pleurotus ostreatus*. The results showed that the effects of copper on mycelial growth, primordia formation, yield, contents of amino acid, total protein and crude fat were significantly concentration-dependent. The growth speed of mycelia had maximum value and primordial formation was 2 days earlier than that of control under 1 500 mg/kg of copper. The yield(dry weight) was the highest under 500 mg/kg of copper. The contents of amino acids, total protein and crude fat all reached maximal values under 1 000 mg/kg of copper, which were 16.00%, 24.88% and 2.34% respectively. However, the copper contents in stipe and pileus gradually increased with the increase of copper concentration(0—3 000 mg/kg).

**Key words:** copper; *Pleurotus ostreatus*; growth and development; yield; quality

平菇富含多糖、蛋白质、矿物质等营养物质,具有增强机体免疫、抗肿瘤、抗病毒、抗衰老、降血糖、降血脂、促进生长发育等多种营养保健功能,而且味道鲜美,物美价廉,受到广大消费者的青睐。据中国

食用菌协会统计,2014 年全国食用菌总产量达 3 270 万 t,其中平菇产量为 546 万 t,占总产量的 16.7%,为我国第三大品种,仅次于香菇和黑木耳。食用菌对铜(Cu)具有明显的富集特性<sup>[1-2]</sup>,国

收稿日期:2016-10-10  
基金项目:河南省农业科学院优秀青年科技基金项目(2016YQ13);河南省现代农业产业技术体系项目(S2010-09);河南省农业科学院自主创新基金项目(2013JC20)  
作者简介:孔维威(1981-),男,河南商丘人,副研究员,博士,主要从事食用菌生理研究。E-mail:kongweiwei888@126.com  
\* 通讯作者:康源春(1964-),男,河南舞阳人,研究员,本科,主要从事食用菌栽培技术研究。E-mail:kyc\_2725@163.com

内关于食用菌中 Cu 富集特性的研究多集中在对食用菌产品中 Cu 含量的测定和评价方面<sup>[3]</sup>。同时, Cu 也是食用菌生长所必需的微量元素之一,在食用菌生长发育中起着重要作用<sup>[4]</sup>。Cu 对食用菌菌丝和子实体生长发育的影响具有显著的浓度效应,且适量 Cu 可以使金针菇菌丝生长加快,菌丝更粗壮、洁白,成熟期提前,产量和生物学效率提高<sup>[5]</sup>。目前,有关 Cu 对平菇生长发育的影响研究较少。鉴于此,研究了不同质量浓度 Cu 对平菇菌丝生长、原基诱导时间、产量、品质和子实体 Cu 含量的影响,以期为进一步研究平菇对 Cu 的吸收利用及调控机制提供一定的参考。

1 材料和方法

1.1 材料

平菇菌株为亚光 1 号,由河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所食用菌研究开发中心菌种库保存。

1.2 方法

1.2.1 原种制备 原种培养料配方为棉籽壳 98%、石灰 2%、水适量。将石灰加入水中搅拌,然后与棉籽壳混合搅拌均匀,装入玻璃瓶,每瓶干质量 300 g,126 ℃ 高压灭菌 1.5 h,接种后放在培养室 20~25 ℃ 培养。待菌丝长满后,选择菌丝粗壮、洁白的优良原种用于栽培袋接种。

1.2.2 平菇栽培管理 培养料中 Cu 质量浓度设 6 个梯度,分别为 0 (CK)、500、1 000、1 500、2 000、3 000 mg/kg。每个处理 30 个菌袋,重复 3 次。栽培料配方为玉米芯 88%、麸皮 10%、碳酸钙 2%、含水量 70%。采用灭菌熟料栽培,按照试验设计,分别称取相应质量的 Cu,然后溶解到相应的水中,与玉米芯混合,之后搅拌均匀,堆闷 12 h,装袋。采用 17 cm×38 cm×0.004 cm 聚丙烯栽培袋。每袋装干料 300 g。装袋后于 126 ℃ 高压灭菌 1.5 h。菌袋冷却后,两端接种(接种量 5%),置于 20~25 ℃ 暗处培养菌丝。待菌丝长满菌袋后移入出菇房,温度控制在 10~15 ℃,空气湿度提高到 85%~90%,原基出现后,温度调整到 15~25 ℃,定期通风换气,子实体长至八成熟时采收,在 60 ℃ 烘箱中烘干至恒定质量,用于平菇产量(干质量)测定及品质分析。

1.2.3 平菇品质分析 氨基酸、蛋白质、粗脂肪含量的测定分别按照 GB/T 5009.124—2003、GB/T 15673—2009、GB/T 15674—2009 进行。

1.2.4 Cu 含量的测定 将采收后的食用菌子实体菌盖和菌柄分开,在 60 ℃ 烘箱中烘干至恒定质量,

采用电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)测定 Cu 含量。

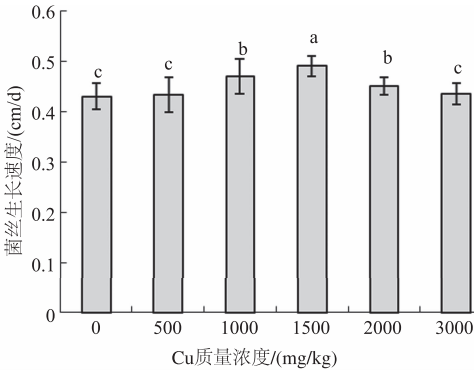
1.3 数据处理

数据用平均值±标准差来表示。显著性比较采用 *t* 测验( $P<0.05$ )和 Duncan's 新复极差法( $P<0.05$ )。

2 结果与分析

2.1 不同质量浓度 Cu 对平菇菌丝生长的影响

如图 1 所示,不同质量浓度 Cu 对平菇菌丝生长影响显著。随着 Cu 质量浓度的增加,菌丝生长速度加快,说明添加适量 Cu 会促进平菇菌丝生长。当 Cu 质量浓度为 1 500 mg/kg 时,平菇菌丝生长最快,菌丝生长速度为 0.49 cm/d,与对照差异显著。随着 Cu 质量浓度的进一步增大,菌丝生长速度又逐渐下降。从菌丝形态、生长势和满袋时间看,添加 1 500 mg/kg Cu 处理的平菇菌丝洁白、浓密、粗壮、菌落边缘整齐且平菇菌丝提前长满菌袋(表 1)。



不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,下同

图 1 不同质量浓度 Cu 对菌袋菌丝生长速度的影响

2.2 不同质量浓度 Cu 对平菇原基诱导时间的影响

如表 2 所示,随着 Cu 质量浓度的增加,原基出现的时间比对照提前。当 Cu 质量浓度为 1 500 mg/kg 时,原基比对照提前 2 d 出现。当 Cu 质量浓度大于 2 000 mg/kg 时,原基出现时间又比对照晚。当 Cu 质量浓度为 3 000 mg/kg 时,原基比对照晚 3 d 出现。

2.3 不同质量浓度 Cu 对平菇产量的影响

由图 2 可知,Cu 对平菇子实体产量影响显著。与对照相比,500 mg/kg Cu 处理显著增加了平菇产量,并且子实体产量达到最高。随着 Cu 质量浓度的增加,平菇产量逐渐降低,当 Cu 质量浓度为 3 000 mg/kg 时,平菇产量达到最低。说明 Cu 对平菇产量的影响具有显著的浓度效应。

表 1 不同质量浓度 Cu 对平菇菌丝生长的影响

Cu 质量浓度/(mg/kg)	菌丝形态	菌丝生长势	满袋时间/d
0	菌丝白色、较浓密、菌落边缘较整齐	+++	24
500	菌丝洁白、浓密、粗壮、菌落边缘整齐	+++	23
1 000	菌丝洁白、浓密、粗壮、菌落边缘整齐	+++	23
1 500	菌丝白色、较浓密、菌落边缘较整齐	++++	22
2 000	菌丝白色、较浓密、菌落边缘较整齐	+++	26
3 000	菌丝白色、较浓密、菌落边缘较整齐	+++	27

注：“+”数量多少表示菌丝生长势强弱。

表 2 不同质量浓度 Cu 对平菇菌袋原基诱导时间的影响

Cu 质量浓度/(mg/kg)	比对照提前出菇时间/d
0	0
500	1
1 000	1
1 500	2
2 000	-2
3 000	-3

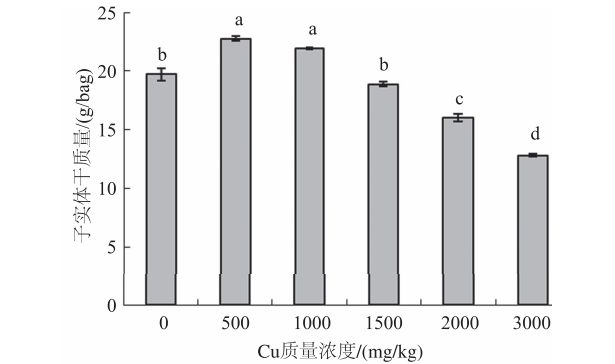


图 2 不同质量浓度 Cu 对平菇子实体产量的影响

2.4 不同质量浓度 Cu 对平菇品质的影响

由表 3 可知,当 Cu 质量浓度为 0 ~ 1 000 mg/kg 时,子实体中蛋白质、氨基酸、粗脂肪含量显著增加,当 Cu 质量浓度为 1 000 mg/kg 时,子实体中蛋白质、氨基酸、粗脂肪含量分别达到最高,分别为 24.88%、16.00%、2.34%;但是当 Cu 质量浓度为 1 500 ~ 3 000 mg/kg 时,子实体中蛋白质、氨基酸、粗脂肪含量则下降。当 Cu 质量浓度为 3 000 mg/kg 时,子实体中蛋白质、氨基酸、粗脂肪含量均降到最低,分别为 17.88%、11.55% 和 1.75%。

2.5 不同质量浓度 Cu 对平菇子实体 Cu 含量的影响

Cu 质量浓度也会影响 Cu 在子实体内的分布。由表 4 可知,随着 Cu 质量浓度的增加,菌盖、菌柄 Cu 含量逐步增加。Cu 质量浓度为 0 ~ 500 mg/kg 时,菌柄中 Cu 含量小于菌盖;而 Cu 质量浓度在 1 000 ~ 3 000 mg/kg 时,菌柄 Cu 含量略大于菌盖。

表 3 不同质量浓度 Cu 对平菇子实体品质的影响

项目	Cu 质量浓度/(mg/kg)						%
	0	500	1 000	1 500	2 000	3 000	
天冬氨酸	1.01	1.14	1.42	1.26	1.25	1.12	
苏氨酸	0.66	0.71	0.88	0.80	0.71	0.65	
丝氨酸	0.60	0.66	0.81	0.73	0.70	0.62	
谷氨酸	2.49	2.76	3.32	3.08	2.53	2.38	
甘氨酸	0.61	0.67	0.86	0.76	0.69	0.60	
丙氨酸	0.80	0.86	1.10	1.00	0.88	0.78	
胱氨酸	0.08	0.09	0.10	0.10	0.08	0.09	
缬氨酸	0.72	0.77	0.96	0.88	0.75	0.69	
蛋氨酸	0.27	0.26	0.30	0.32	0.21	0.20	
异亮氨酸	0.52	0.56	0.71	0.62	0.57	0.50	
亮氨酸	0.94	0.98	1.20	1.10	0.96	0.85	
酪氨酸	0.24	0.25	0.34	0.28	0.26	0.20	
苯丙氨酸	0.73	0.76	0.91	0.84	0.71	0.65	
赖氨酸	0.90	0.96	1.18	1.10	0.94	0.83	
组氨酸	0.30	0.34	0.42	0.38	0.35	0.30	
精氨酸	0.56	0.64	0.83	0.71	0.72	0.61	
脯氨酸	0.54	0.53	0.66	0.64	0.59	0.48	
总计	11.97	12.94	16.00	14.6	12.92	11.55	
蛋白质	18.95	19.87	24.88	22.72	19.24	17.88	
粗脂肪	2.25	1.89	2.34	2.25	1.91	1.75	

表 4 不同质量浓度 Cu 对平菇子实体 Cu 含量的影响

mg/kg

Cu 质量浓度	菌盖	菌柄
0	3.49	1.77
500	12.18	8.74
1 000	21.62	23.56
1 500	31.34	32.15
2 000	45.05	53.69
3 000	82.20	80.84

3 结论与讨论

Cu 是食用菌所必需的微量元素之一,培养料中虽然含有丰富的 Cu,但其可用度不高。据报道,在小麦秸秆中仅有 36% 的 Cu 可以被平菇利用<sup>[6]</sup>。本研究中添加适量 Cu 可以促进菌丝生长(Cu 1 000 ~ 2 000 mg/kg),原基提早形成(Cu 500 ~ 1500 mg/kg),产量提高(Cu 500 ~ 1 000 mg/kg),氨基酸、蛋白质含量提高(Cu 500 ~ 2 000 mg/kg),粗脂肪含量提高(Cu 1 000 mg/kg),这可能是因为培养料中添加适量 Cu 后,提高了培养料降解相关酶的活性,进而促进平菇生长发育<sup>[6]</sup>。

食用菌对 Cu 有明显的富集特性。食用菌对 Cu 的累积速率呈由低到高、再由高到低的趋势<sup>[7]</sup>。大多数金属元素在子实体中的分布呈现不均一状态,一般来说,产孢区(不包括孢子)的金属含量最高,其次是菌盖,菌柄中含量最低<sup>[8]</sup>。本研究中 Cu 质量浓度较低时(0 ~ 500 mg/kg),子实体中 Cu 的分布均表现为菌柄中含量低于菌盖,表明子实体吸收的 Cu 更多地转运至菌盖。Cu 质量浓度较高时(1 000 ~ 3 000 mg/kg),菌柄 Cu 含量大于菌盖,说明子实体吸收的 Cu 更多地留在了菌柄中。这说

明,环境中 Cu 的浓度可能会影响 Cu 的吸收和转运。前人已经在平菇中克隆到了一个高亲和的 Cu 转运蛋白<sup>[9]</sup>,这将有助于深入研究食用菌对 Cu 的吸收和调控机制。

参考文献:

[1] 刘凤春,郭砚翠,王雅茹,等. 强化平菇营养初探[J]. 中国食用菌,1989(5):11-12.

[2] 李兆兰. 等离子光谱法测定菌丝体的微量元素含量[J]. 食用菌,1989(2):7-8.

[3] 刘剑飞,胡留杰,廖敦秀,等. 食用菌生物修复重金属污染研究进展[J]. 应用生态学报,2011,22(2):543-548.

[4] Chang S T, Miles P G. Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact[M]. 2nd ed. Florida: CRC Press, 2004.

[5] 廖建良. 铜对金针菇生长的影响试验[J]. 食用菌, 2001(4):9.

[6] Baldrian P, Valášková V, Merhautová V, et al. Degradation of lignocellulose by *Pleurotus ostreatus* in the presence of copper, manganese, lead and zinc[J]. Research in Microbiology, 2005, 156:670-676.

[7] 雷敬敷,杨德芬. 食用菌的重金属含量及食用菌对重金属富集作用的研究[J]. 中国食用菌,1990,9(6):14-17.

[8] Kalac P, Svoboda L. A review of trace element concentrations in edible mushrooms[J]. Food Chemistry, 2000, 69(3):273-281.

[9] Peñas M M, Azparren G, Sommer A D H, et al. Identification and functional characterization of *ctr1*, a *Pleurotus ostreatus* gene coding for a copper transporter[J]. Molecular Genetics and Genomics, 2005, 274(4):402-409.