

木耳菌糠对元蘑胞外酶活性的影响

邹莉, 张国权, 孙婷婷, 王玥, 杨苑艺 (东北林业大学, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 [目的] 筛选利用木耳菌糠栽培元蘑的最佳配方。[方法] 设计 4 种配方, 选取元蘑菌丝生长期、原基形成期和子实体发育期等阶段, 测定其羧甲基纤维素酶(CMC)、半纤维素酶(HC)、淀粉酶(AMY)、漆酶(LAC)4 种胞外酶的活性。[结果] 在不同配方中, 元蘑菌丝体所分泌的 CMC、HC、AMY 和 LAC 酶活具有明显的差异, 但同种酶的活性在不同配方中变化趋势基本一致; 经过显著性分析, 配方 1、配方 2 和配方 3 胞外酶活性无显著差异, 但配方 4 的酶活显著低于其他 3 种配方。[结论] 在胞外酶水平上, 配方 1、配方 2 和配方 3 用来栽培元蘑都是可行的。从经济成本考虑, 配方 3(菌糠含量为 36%) 为最佳配方。

关键词 元蘑; 木耳菌糠; 胞外酶活性

中图分类号 S646 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)28-11269-03

Effect of Waste Material of *Auricularia auricular* on *Hohenbuehelia serotina* Extracellular Enzyme Activities

ZOU Li et al (Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract [Objective] The research aimed to select the optimal formulation to cultivate *Hohenbuehelia serotina* with waste material of *Auricularia auricular*. [Method] 4 formulations were designed and mycelium growth phase, primordium formation phase and fruiting body growth phase were chosen, the activities of CMC, HC, AMY and LAC were determined. [Result] In different formulations, CMC, HC, AMY and LAC that *H. serotina* mycelium secreted had significant differences, but the same enzyme activity had the consistent tendency in different formulations. After significance analysis, extracellular enzyme activities in formulation 1, 2, 3 had no significant differences, but they were significantly lower in formulation 4. [Conclusion] On the extracellular enzyme level, cultivating *H. serotina* with formulation 1, 2, 3 was feasible. Considering economic costs, formulation 3 (waste material of 36%) was optimal.

Key words *Hohenbuehelia serotina*; *Auricularia auricular*; Extracellular enzyme activities

元蘑 [*Hohenbuehelia serotina* (Schr. : Fr.) Sing] 属于真菌界, 真菌门, 担子菌亚门, 层菌纲, 伞菌目, 侧耳科, 亚侧耳属^[1], 别名黄蘑、冻蘑。元蘑富含蛋白质、氨基酸以及多种不饱和脂肪酸、微量元素, 是一种高蛋白、低脂肪的健康食品^[2], 深受广大消费者的喜爱。传统元蘑栽培主要以木屑为基质。因“天然林保护工程”的实施, 木屑产量逐年减少, 栽培原料的不足严重制约着元蘑的生产。木耳菌糠是栽培木耳后的废弃料, 但它仍有较丰富的养分, 可以为元蘑的正常生长发育提供养料。

我国年产菌糠百万吨, 黑龙江省主要生产木耳菌糠。对这些菌糠的处理方式主要为弃之野外或集中焚烧, 严重威胁着各地区的生态环境^[3]。如果能够对木耳菌糠再利用, 那么将有效缓解元蘑栽培原料不足的现状, 同时解决菌糠带来的环境污染问题。针对这种现状, 国内已有对木耳菌糠代替木屑栽培元蘑的研究^[4], 在栽培种原料配比及栽培技术等方面取得了一定进展, 但关于菌糠栽培元蘑对其胞外酶活性影响的研究至今还未见报道。为此, 笔者研究了不同比例的木耳菌糠代替木屑栽培元蘑时菌丝生长及胞外酶活性的变化规律, 以期更加深入地了解纤维素、淀粉等主要营养成分在不同生长期的分解情况, 从而分析元蘑菌丝对培养料不同组分的利用能力, 为利用木耳菌糠代替木屑栽培元蘑提供一定的理论依据。

1 材料与方

1.1 供试菌株 元蘑 I 号, 由东北林业大学森林保护实验室保藏。

1.2 培养基

(1) 母种培养基。PDA 培养基: 马铃薯 200 g, 葡萄糖 20

g, 琼脂 15 g, 水 1 000 ml, pH 自然。

(2) 原种培养基。阔叶树木屑 77%、麸皮 20%、玉米面 1%、豆面 1%、碳酸钙 1%。

(3) 栽培种培养基。设置 4 组配方, 见表 1^[4]。

表 1 栽培种培养基配方及组分比例

配方	碳酸钙	豆面	玉米面	麸皮	阔叶树木屑	木耳菌糠
1	1	1	1	20	77	0
2	1	1	1	20	61	16
3	1	1	1	20	41	36
4	1	1	1	20	21	56

1.3 栽培方法

1.3.1 装袋与灭菌。 选择无污染无霉变的木耳菌糠袋, 进行脱袋、碾碎、阳光下暴晒处理, 以杀死菌糠中木耳菌丝。按上述各配方准确称取培养料并混匀, 加水搅拌使湿度达到 65%, 拌匀后静置 20 min, 用规格为 17 cm × 33 cm × 0.05 cm 的聚丙烯塑料袋装成菌袋。最后, 在 1.5 kg/cm² 压力下灭菌 2 h。

1.3.2 接种与发菌。 严格按照无菌操作的要求, 所有菌袋等量接种。将接种后的菌袋置于气候箱中进行发菌处理, 温度控制在 (25 ± 1) °C, 湿度 70% 左右。

1.3.3 菌丝生长势的测定。 接种 48 h 后, 培养料即可长出白色绒毛状菌丝, 并伴有雾状水汽聚集袋口。待菌丝长到菌袋内壁时, 开始测量菌丝生长速度, 每隔 48 h 观察、记录菌丝生长势和污染情况, 将有杂菌污染的菌袋及时检出。直到有菌袋长满时结束观察, 并对观察结果和数据进行分析。

1.3.4 栽培与管理。 菌丝长满菌袋后, 继续培养 15 d, 使得菌丝达到生理成熟, 之后将所有菌袋移入出菇室(湿度 80% 左右), 打开菌袋上方的口, 加强通风。元蘑是变温结实的高温菇, 将出菇室温度控制在 10 ~ 15 °C, 以刺激原基的形成。在有充足散射光的条件下, 陆续可见菌丝表面逐

基金项目 黑龙江省博士后启动基金资助(LRB 1111762)。

作者简介 邹莉(1966 -), 女, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士生导师, 从事食用菌方面的研究, E-mail: 13903650896@163.com。

收稿日期 2013-08-26

渐发育成黄褐色颗粒状原基,此为元蘑子实体的原始体,在有原基形成的部位划口,划口大小与方式要求能使原基完全暴露,此时,提高空气湿度至90%~95%,原基逐渐发育形成子实体。

1.4 粗酶液制备 在元蘑各生长阶段,测定4种配方中4种胞外酶的活力。在元蘑菌丝生长到菌袋的1/3、2/3、满袋及原基形成期、子实体发育期5个阶段,在距菌袋表层5 cm处均匀取2份培养料,每份精确称量5 g。1份样品加入25 ml水,25℃浸提2 h,4 000 r/min,5℃离心10 min,取上清液,得粗酶液,置于4℃冰箱保存;另1份样品80℃烘至恒重,称重。

1.5 胞外酶活性的测定 采用羧甲基纤维素钠法测定羧甲基纤维素酶(CMC)活性;采用分光光度计法测定半纤维素酶(HC)活性;采用3,5-二硝基水杨酸比色法(DNS法)测定淀粉酶(AMY)活性;采用邻联甲苯胺法测定漆酶(LAC)活性^[5-8]。

2 结果与分析

2.1 不同配方对元蘑菌丝生长的影响 在不同配方中,培养基成分不同,其营养成分也有一定差异。这对菌丝的生长速度有着重要的影响。

从图1可以看出,在4种配方中,菌丝长至菌袋1/3时菌丝平均生长速度最快,之后菌丝生长速度均呈现下降趋势,在菌丝长满袋时降至最低。在配方3中菌丝生长速度最快,其次是配方2和配方1,配方4最慢。显著性分析表明,配方1、配方2及配方3菌丝生长速度之间无显著差异,与配方4有显著差异。

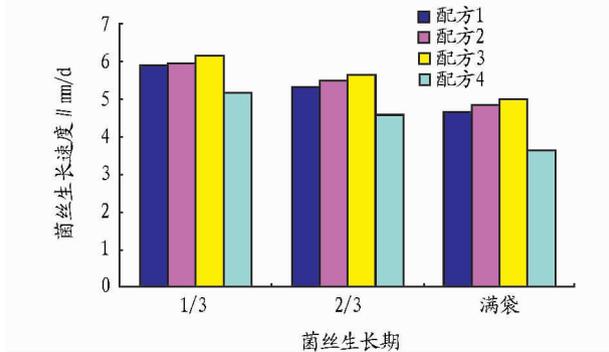


图1 不同配方对元蘑菌丝生长速度的影响

不同配方除了对菌丝生长速度有影响外,对菌丝生长势、菌丝颜色、满袋天数等也产生重要影响。这些因素对后期元蘑原基的形成、子实体的形成有十分重要的作用。

从表2可以看出,在元蘑菌丝的生长势方面,在配方1、配方2、配方3中,菌丝生长粗壮且浓密,颜色洁白,而在配方4中,菌丝生长细弱且稀疏,颜色灰白;对于菌丝的平均生长速度,配方1、配方2、配方3无显著差异,且配方3的平均生长速度最快,配方4菌丝生长速度最慢;从满袋天数来看,配方3所需时间最短;从污染率来看,配方1污染率最低,为5.4%,配方4污染最严重,达14.0%,与前3种配方存在0.05水平显著差异。综上所述,前3种配方中,菌丝生长情

况较好,无显著差异,但与配方4有0.05水平显著差异。

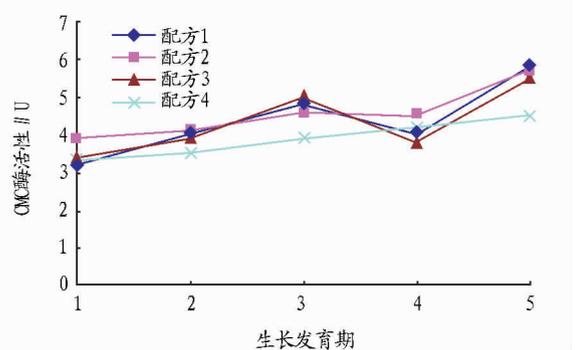
表2 不同配方对元蘑菌丝生长的影响

配方	菌丝生长势		菌丝颜色	平均生长速度/mm/d	满袋天数/d	污染率/%
	粗壮程度	浓密程度				
1	粗壮	浓密	洁白	5.22 Bb	38	5.4
2	粗壮	较浓密	洁白	5.36 ABab	36	6.2
3	粗壮	浓密	洁白	5.54 Aa	35	5.8
4	细弱	稀疏	灰白	4.34 Cc	44	14.0

注:同列不同大小写字母分别表示差异在0.01、0.05水平显著。

2.2 不同配方对元蘑 CMC 酶活性的影响 以 CMC 酶为底物,水解产物为葡萄糖,可为元蘑菌丝的生长提供碳源。

从图2可以看出,在前3种配方中,元蘑菌丝体分泌的 CMC 酶活性变化趋势相同,但在不同配方中 CMC 酶活性表现出一定的差异。4种配方中,CMC 酶活性在菌丝长至满袋前一直呈增长趋势;至原基形成期,配方1、配方2和配方3 CMC 酶活性有所下降,但配方4酶活性增长。之后,4种配方中酶活性一直增长,在子实体发育期均达到最大值。在菌丝长满袋和子实体发育期,配方1、配方2和配方3的 CMC 酶活性不存在显著性差异,但都在0.05水平显著高于配方4。



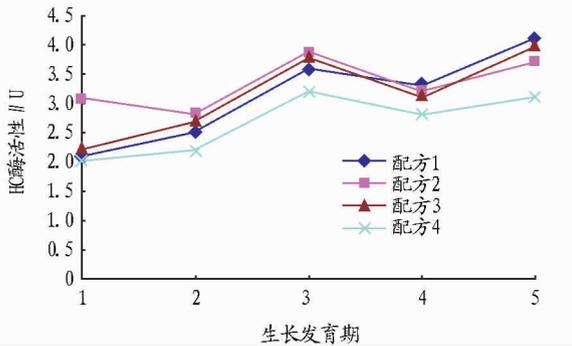
注:1.长至菌袋1/3;2.长至菌袋2/3;3.满袋;4.原基形成期;5.子实体发育期。

图2 不同配方中元蘑 CMC 酶活性的变化

2.3 不同配方对元蘑 HC 酶活性的影响 在 HC 酶的作用下,栽培料中的半纤维素被分解为五碳糖、六碳糖和糖醛酸,可为元蘑菌丝生长提供碳源。

从图3可以看出,在4种配方中菌丝体的不同生长发育期,HC 酶活性变化表现出一定的差异。在菌丝生长初期,除配方2外,其他3种配方酶活性均较低,但随着时间变化,酶活性增长均很快;配方2中 HC 酶活性在菌丝长至菌袋2/3时有小幅度下降;菌丝长满菌袋时,4种配方 HC 酶活性均达到菌丝生长期的最大值,且配方4酶活在0.05水平显著低于其他3种配方;但在原基形成期,4种配方酶活性快速下降;在之后的子实体发育期,HC 酶活性逐渐增加,配方1和配方3的酶活性此时达到最大值,且前3种配方酶活性显著高于配方4。

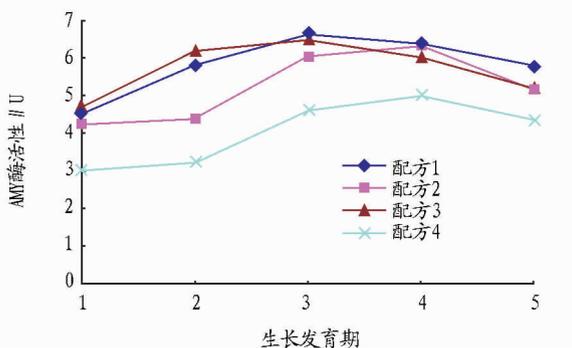
2.4 不同配方对元蘑 AMY 酶活性的影响 AMY 酶包括 α -淀粉酶和 β -淀粉酶。在 AMY 酶的作用下,栽培料中的淀粉被水解成葡萄糖,可为元蘑菌丝生长提供碳源。



注:1. 长至菌袋 1/3;2. 长至菌袋 2/3;3. 满袋;4. 原基形成期;5. 子实体发育期。

图3 不同配方中元蘑 HC 酶活性的变化

从图4可以看出,在4种配方中,AMY酶活性变化规律基本一致。在菌丝生长初期,4种配方中AMY酶活性均呈上升趋势,当菌丝长满菌袋时,配方1与配方3酶活性达到最大值,之后不断下降;在原基形成期,配方2和配方4的AMY酶活性达到最大值,在子实体发育期又有所下降。在整个生长发育期,配方1和配方3中AMY酶活性无显著差异,但均在0.05水平显著高于配方4。



注:1. 长至菌袋 1/3;2. 长至菌袋 2/3;3. 满袋;4. 原基形成期;5. 子实体发育期。

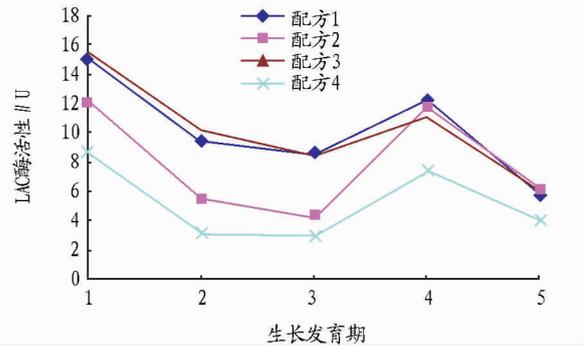
图4 不同配方中元蘑 AMY 酶活性的变化

2.5 不同配方对元蘑 LAC 酶活性的影响 LAC 是一种木质素分解酶。在木质素分解酶的作用下,栽培料中的木质素被分解为成分复杂的小分子化合物,供元蘑菌丝细胞吸收利用。LAC 酶活性越高,表明菌丝分解木质素能力越强。

从图5可以看出,在4种配方中,LAC酶活性随菌丝生长表现出相同的变化趋势,但在同一生长发育期,不同配方的LAC酶活性差异较大。在菌丝生长发育初期,4种配方中LAC酶活性均为最大值,之后快速下降,在菌丝长满袋时降到最低,且在菌丝长满袋的过程中,配方1和配方3的LAC酶活性均在0.05水平显著高于配方2和配方4;在原基形成期,4种配方的LAC酶活性均逐渐上升,达到各自峰值;在子实体发育期,4种配方的LAC酶活性均下降。在原基形成和子实体发育期,前3种配方LAC酶活无显著差异,但都在0.05水平显著高于配方4。

3 结论与讨论

通过对木耳菌糠替代木屑栽培元蘑时研究不同配方对



注:1. 长至菌袋 1/3;2. 长至菌袋 2/3;3. 满袋;4. 原基形成期;5. 子实体发育期。

图5 不同配方中元蘑 LAC 酶活性的变化

元蘑菌丝生长及胞外酶活性的影响,发现在配方1、配方2和配方3中,元蘑菌丝的生长势均较好,但配方3中菌丝生长速度最快;在不同配方中,元蘑菌丝体所分泌的CMC、HC、AMY和LAC4种胞外酶的活性具有明显的差异,但是同种酶的活性在不同配方中变化趋势基本一致。经过显著性分析,配方2和配方3中4种胞外酶的活性与配方1无显著差异,但配方4的酶活在0.05水平显著低于其他3种配方。该研究在胞外酶水平上进一步表明利用木耳菌糠代替木屑栽培元蘑这一生产模式的可行性,为今后木耳菌糠的再利用提供科学依据。

(1)木耳菌糠对元蘑菌丝生长产生一定的影响。无论从菌丝生长势,还是从菌丝生长速度来看,在配方3中菌丝生长都是最好的;从满袋天数来看,配方3只需35d,菌丝就长满菌袋,发菌日期最短。这在生产中可以缩短生产周期。此外,从污染率来看,随着菌糠比例的升高,污染率逐渐增加。这说明木耳菌糠虽然经过暴晒处理,但含量超过36%,还会增加菌袋污染率。

(2)木耳菌糠对元蘑 CMC 和 HC 酶活性产生一定的影响。在元蘑菌丝体生长发育过程中,CMC 与 HC 酶活性在4种配方中的变化趋势是一致的,都呈上升趋势,原基形成后2种酶活性进一步上升,在子实体发育期达到最高。这与王南等^[9-10]研究结果相似。这可能是由于元蘑菌丝体在原基形成后,随着菌丝体内储藏的糖原等物质已被消耗,所剩营养物质不能满足子实体后期生长发育的需要。CMC 和 HC 酶活性的增加可加速其对培养基中纤维素和半纤维素的降解,以满足子实体生长发育对物质和能量的需求。但是,关于 CMC 和 HC 酶活性的变化与子实体的生长发育之间可能存在的某种内在调控机制尚需进一步研究。

(3)木耳菌糠对元蘑 AMY 酶活产生一定的影响。在4种配方中,AMY酶活性在菌丝体生长阶段逐渐升高,菌丝体长满菌袋时达到最大值,之后逐渐下降。这一结果与王玉万等^[11]对构菌的研究结果相似。淀粉是菌丝体较易吸收的碳源。在生长阶段初期菌丝体优先利用淀粉作为碳源。这个过程需要AMY的参与。因此,在制作栽培料时,可适量添加淀粉含量丰富的物质如玉米粉等,以促进菌丝体的生

(下转第11324页)

<0.05)地高于棚架,比棚架处理分别高了 43.56%、34.05%、32.10%;可滴定酸含量略大于棚架处理,但无显著差异。

2.5 棚架和高“厂”型树形对红地球葡萄产量及经济效益的影响 从表 2 可以看出,虽然高“厂”型处理的产量低于棚架

处理,但是商品果率、出园价均高于棚架处理,进而使平均产值和总收入高于棚架处理,高“厂”型处理的平均产值为 19.65 万元/hm²,棚架处理的平均产值为 15.15 万元/hm²,高“厂”型处理比棚架处理的平均产值高了 4.50 万元/hm²,增幅为 29.7%。

表 1 相关品质的影响

树形	单穗重//kg	单粒重//g	果实纵径//mm	果实横径//mm	果形指数	坐果率//%	可滴定酸含量//%
高“厂”型	1.04 a	13.61 a	32.60 a	28.15 a	1.05 a	78.45 a	0.30 a
棚架	0.90 a	9.46 b	24.32 b	21.31 b	1.12 a	70.84 a	0.26 a

注:表中同列数据后无相同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

表 2 产量及经济效益的影响

树形	种植面积 hm ²	平均产量 t	商品果率 %	出园价 元/kg	平均产值 万元/hm ²	总收入 万元
高“厂”型	0.5	27	91	8	19.65	9.83
棚架	0.5	30	84	6	15.15	7.56

3 讨论与结论

葡萄是藤蔓植物,必须依靠一定的支撑才能进行正常的生产,因此采用合理的架式和配套的整形修剪技术是葡萄优质高产的重要技术保证^[2-3]。前人的研究证明,架势影响葡萄的光合作用、产量和品质^[4-5]。该研究表明,采用高“厂”型的整形方式可显著降低结果枝的节间长度,这与单守明等^[6]的研究结果一致。由于采用高“厂”型的整形方式显著抑制了葡萄的顶端优势,即抑制了新梢徒长的现象,从而降低了葡萄园的管理难度和成本。

该研究还表明,采用高“厂”型的整形方式在不影响果实的内在品质的情况下可显著增加果实的单粒重及果实纵横径,这在一方面提高了果实的等级和商品果率,另一方面提高了葡萄的出园价,并最终增加了产值,增幅为 29.7%。高“厂”型的整形方式相比棚架而言有独特的优势,在第 2 道钢

丝以下对副梢和芽做绝后处理,增加了葡萄的通风透光性,减少了病害的发生;结果部位均匀地分布在 4、5 及 7、8 道钢丝间,增加了果实对水、肥、养分的均匀吸收,使果实单粒重及果实纵横径显著增加。

综上,采用高“厂”型的整形方式可显著降低结果枝的节间长度,显著增加果实的单粒重及果实纵横径,提高果实的等级和商品果率,并最终增加产值,增幅为 29.7%。高“厂”型的整形方式适宜新疆生产建设兵团第四师六十七团甚至伊犁地区红地球葡萄优质、高效的生产,也可为今后新疆及我国葡萄架式改良提供理论基础。

参考文献

- [1] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 48 - 50.
- [2] REYNOLDS A G, WARDLE D A, MARGARET A, et al. Impact of training system and vine spacing on vine performance, berry composition, and wine sensory attributes of riesling[J]. Am J Enol Vitic, 2004, 55(1): 96 - 103.
- [3] 杨晓盆, 翟喜秋, 张国强, 等. 不同架式温室葡萄冠位叶片及叶绿体结构的变化[J]. 中国农学通报, 2008, 37(2): 63 - 64.
- [4] 单守明, 平吉成, 王振平, 等. 不同架式对设施葡萄光合作用和果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(35): 17801 - 17803.
- [5] 赵新节, 孙玉霞, 刘波, 等. 不同架式栽培的玫瑰香葡萄成熟期挥发性物质的变化[J]. 园艺学报, 2005, 32(1): 87 - 90.
- [6] 单守明, 杨怒玲, 平吉成, 等. 不同架式对设施葡萄生长发育和主芽坏死的影响[J]. 北方园艺, 2011(2): 51 - 53.

(上接第 11271 页)

长。而在原基形成之后,AMY 酶活性降低。这可能是因为淀粉在菌丝生长初期已被消耗,菌丝体开始分解其他物质作为主要碳源来满足生长发育的需求。

(4) 木耳菌糠对元蘑 LAC 酶活产生一定的影响。在 4 种配方中,LAC 酶活性在菌丝生长阶段迅速下降,当原基形成时其活性升高,之后下降到最低。这一现象与倪新江等^[12-13]研究结果相似。在菌丝体生长阶段,LAC 酶活性下降,可能是因为该阶段菌丝以利用淀粉、纤维素为主,较少分解木质素,到原基形成之后,子实体开始生长发育需要加快木质素的分解速度以满足自身对碳源的需要。这就需要 LAC 酶活性的增强。

(5) 通过对传统配方和木耳菌糠代替木屑配方中 4 种胞外酶活性的研究,发现木耳菌糠比例在 16% 和 36% 时,4 种胞外酶的活性与传统配方无显著差异,而当木耳菌糠比例上升至 56% 时,4 种胞外酶的活性在 0.05 水平显著低于传统配方。这一结果与王志彬等^[14]在利用菌糠栽培元蘑的研究中所得到的菌糠代替木屑的最佳比例是基本一致的。这可能是因为菌糠在木耳菌丝生长之后,原料经过一系列生物反应,其纤维素、半纤维素、木质素等已被不同程度的分解。适当比例的菌糠不仅

增加有效地营养成分,而且提高营养物质的消化利用率。而当菌糠比例过高,栽培料的营养成分不能满足元蘑整个生长发育过程的需要,而且其营养物质不需要过多的酶参与分解,使得该种配方的胞外酶活性远低于其他配方。

参考文献

- [1] 刘波. 山西大型食用真菌[M]. 太原: 山西高校联合出版社, 1991: 59 - 60.
- [2] 曹瑞敏, 王志才, 陈海燕, 等. 长白山野生侧耳中部分化学成分及微量元素分析[J]. 中国中药杂志, 1995, 20(4): 233 - 234.
- [3] 龚振云, 赵桂云. 木耳菌糠袋栽平菇技术[J]. 北方园艺, 2009(3): 214 - 215.
- [4] 王志彬, 邹莉, 尼玛帕珠, 等. 利用木耳菌糠栽培元蘑技术的研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(28): 255 - 259.
- [5] 叶云霞, 金宁, 杨杰, 等. 不同培养料对元蘑胞外酶活性的影响[J]. 山西农业大学学报, 2011, 31(2): 172 - 175.
- [6] 刘靖宇, 孟俊龙, 张江萍, 等. 三种培养料对黄伞胞外酶活性的影响[J]. 食用菌学报, 2006, 13(1): 41 - 43.
- [7] 白燕, 王维新. 刺参肠道蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶与纤维素酶活性的测定方法[J]. 饲料工业, 2012, 33(20): 28 - 32.
- [8] 吕春鹤, 孙婷婷, 张健, 等. 几种常见食用菌胞外酶活性测定方法的研究[J]. 中国林副特产, 2013(5): 93 - 95.
- [9] 王南, 沈锋, 谭琦, 等. 柱状田头菇生长发育中 9 种胞外酶活性的测定[J]. 菌物系统, 2000, 19(4): 540 - 546.
- [10] 倪新江, 丁立孝, 潘迎捷, 等. 姬松茸在两种培养基上生长期间九种胞外酶活性变化[J]. 菌物系统, 2001, 20(2): 222 - 227.
- [11] 王玉万, 徐文玉. 构菌栽培过程中对木质纤维素的降解和几种多糖分解酶活性的变化[J]. 微生物学通报, 1989(3): 137 - 140.
- [12] 倪新江, 潘迎捷, 冯志勇, 等. 香菇生长过程中几种胞外酶活性的变化[J]. 食用菌学报, 1995, 2(4): 22 - 27.
- [13] 倪新江, 丁立孝, 冯志勇, 等. 灰树花生长发育过程中的几种胞外酶活性变化[J]. 微生物学杂志, 2001, 21(3): 24 - 25.
- [14] 贾静, 叶云霞, 王军英, 等. 菌糠袋栽元蘑技术初步研究[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2011, 31(3): 247 - 249.