

以蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝酶活性及其营养对比研究

赵风云, 杨鑫, 黄淑君, 郑露华

(昆明理工大学食品安全研究院, 云南昆明 650500)

摘要: 本文分别以蔗渣和棉籽壳为基质对灵芝进行栽培, 对比两种培养基中的灵芝生长性状、相关酶活变化规律和灵芝子实体的营养成分。结果表明: 以蔗渣为基质栽培的灵芝菌丝生长速度 (1.82 ± 0.54 cm/d) 较快、生物学效率 ($23.71 \pm 1.49\%$) 较高, 生长周期比棉籽壳培养基的缩短 1 天。灵芝在以蔗渣和棉籽壳为基质的栽培过程中, 羧甲基纤维素酶、木聚糖酶和漆酶活性变化规律基本一致, 两种培养基的灵芝三种酶活性在菌丝生长期和子实体生长期各有一个峰值。以蔗渣为基质的灵芝羧甲基纤维素酶和木聚糖酶的活性总体较高, 漆酶活性总体低于棉籽壳为基质的灵芝。蔗渣为基质的灵芝子实体的粗蛋白 ($22.04 \pm 0.07\%$)、粗脂肪 ($2.73 \pm 0.03\%$)、多糖 ($4.15 \pm 0.03\%$) 和粗纤维含量 ($34.19 \pm 3.15\%$) 较高; 而灰分含量 ($3.94 \pm 1.08\%$)、氨基酸总量 (10.40%)、必需氨基酸量 (4.25%)、必需氨基酸占氨基酸总量的比值 (40.88%) 均低于棉籽壳为基质的灵芝子实体。

关键词: 灵芝; 蔗渣; 棉籽壳; 酶活; 营养成分

文章编号: 1673-9078(2015)1-84-89

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.1.016

Comparison of Enzyme Activity and Nutrients of *Ganoderma lucidum* Cultivated on Bagasse and Cottonseed Hull Substrates

ZHAO Feng-yun, YANG Xin, HUANG Shu-jun, ZHENG Lu-hua

(Food Safety Institute, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: In this study, *Ganoderma lucidum* was cultured using bagasse and cottonseed hull as substrates, and the growth characteristics, enzyme activity, and nutrients in the fruiting body were compared. The results showed that *G. lucidum* cultivated on bagasse exhibited faster mycelium growth (1.82 ± 0.54 cm/d), higher biological efficiency ($23.71 \pm 1.49\%$), and a shorter growth cycle (less by a day) than *G. lucidum* cultivated on cottonseed hull. During cultivation on either substrate, the trend of changes in the enzyme activity of carboxy methyl cellulase (CMCase), xylanase, and laccase in two culture media were consistent. A single peak value for each of the three enzyme activities was obtained for *G. lucidum* cultivated on the two substrates in the mycelium and fruiting body stages. *G. lucidum* cultivated on bagasse showed higher CMCase and xylanase activities, but lower laccase activity when than *G. lucidum* cultivated on cottonseed hull. Compared with the fruiting body of *G. lucidum* cultivated on cottonseed hull, the fruiting body of *G. lucidum* cultivated on bagasse substrate showed higher content of crude protein ($22.04 \pm 0.07\%$), crude fat ($2.73 \pm 0.03\%$), polysaccharide ($4.15 \pm 0.03\%$), crude fiber ($34.19 \pm 3.15\%$), lower content of amino acids (10.40%), essential amino acids (4.25%), ash ($3.94 \pm 1.08\%$), and a lower ratio of essential amino acid to total amino acid (40.88%).

Key words: *Ganoderma lucidum*; bagasse; cottonseed hull; enzyme activity; nutrients

棉籽壳是棉籽经过剥壳机分离, 棉仁榨油后剩下的外壳, 又称棉皮, 是我国常见的农业废弃物, 其主要组分为 47% 纤维素, 40% 木质素, 5% 半纤维素及少许灰分、棉酚和多缩戊糖^[1]。棉籽壳营养全面, 碳氮比 (C/N) 约为 28:1, 是我国许多种类食用菌的培养基质。蔗渣主要产于甘蔗制糖工业, 蔗渣主要组分为

44% 纤维素、33% 半纤维素、18% 木质素及少许灰分、粗蛋白和可溶性糖^[2]。我国是仅次于巴西、印度的世界第三大甘蔗种植大国。据统计, 我国 2012 年甘蔗栽培面积约为 2300 万亩, 产蔗渣 958.78 万 t, 蔗渣价格远低于棉籽壳。目前, 90% 的蔗渣被用作燃料, 10% 被用于造纸以及生产动物饲料等^[3], 综合利用率很低, 造成较大浪费和环境污染。已有利用蔗渣栽培香菇、木耳、杏鲍菇等食用菌的研究, 方白玉等对以蔗渣为基质栽培赤芝的配方进行了探讨^[4]。

灵芝 (*Ganoderma lucidum*) 为食药两用真菌, 含

收稿日期: 2014-06-17

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划 (201210674020); 云南省科技厅应用基础研究计划项目 (2011FZ046)

作者简介: 赵风云 (1979-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品生物技术

有灵芝多糖、灵芝酸和多种腺苷的衍生物等活性成分,具有调节人体神经系统、心血管系统、内分泌系统和免疫系统等保健和医疗作用^[5-6]。本文以蔗渣和棉籽壳为基质进行灵芝栽培研究,对比灵芝生长过程中的生长性状、相关酶活变化规律和子实体的营养成分,探讨灵芝生长性状、相关酶活、灵芝子实体营养成分与培养基质之间的关系。本研究可为利用蔗渣为培养基质栽培灵芝提供参考,为我国农产品加工副产物高值化利用和环境保护提供一定的理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 菌种

灵芝菌种:本实验室提供,马铃薯综合培养基(potato dextrose agar medium, PDA)斜面保存。

1.2 实验方法

1.2.1 培养基制备

PDA培养基:马铃薯 16%,葡萄糖 2%,琼脂粉 2%,水 80%,pH 自然;

蔗渣培养基:甘蔗渣(云南新平漠沙糖厂) 75%,麸皮 23%,石膏 1%,过磷酸钙 1%;

棉籽壳培养基:棉籽壳(产自安徽) 75%,麸皮 23%,石膏 1%,过磷酸钙 1%。

1.2.2 灵芝的栽培

将灵芝菌种接种于新鲜的 PDA 培养基平板,置于 28 °C 恒温培养 4~5 d。待菌丝长满后,切取 4 cm×4 cm 长有菌丝的琼脂块,接入灭菌后冷却至室温的蔗渣和棉籽壳培养基,两种培养基均设 6 个重复。在温度 25±2 °C,湿度 70±5% 的生化培养箱中避光培养,观察记录菌丝生长情况。待蔗渣和棉籽壳培养基长满菌丝后,将栽培袋的塞子移除,在温度 30±2 °C,湿度为 90±5% 的培养箱中光照培养,观测原基分化、菌柄生长和子实体的形成。待子实体成熟后收获,干燥备用。

1.2.3 灵芝生产性状测定方法

菌丝生长速度(cm/d):每天在栽培袋上同一位置用尺子测量菌丝生长的长度,取平均值;

原基分化时间(d):灵芝菌种从栽培到第 1 个原基出现所需的时间;

子实体收获时间(d):灵芝菌种从栽培到子实体成熟、喷射出孢子所需的时间;

生物学效率(biological efficiency, BE)(%)=子实体鲜重/培养基干重×100%。

1.2.4 灵芝酶活测定方法

预处理:从栽培袋内每隔 4 天取 0.7±0.1 g 的培养基,加入 50 mL 0.1 mol/L pH 5.8 的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液,冰浴研磨,浸泡 1 h,过滤,4000 r/min 离心 10 min,取上清液,测定酶活性。

羧甲基纤维素酶(CMCase)活性测定^[7]:以羧甲基纤维素为底物,以葡萄糖为标品作标准曲线,测定生成的还原糖量。每分钟由底物生成 1 μmol 葡萄糖所需的酶量为一个酶活单位。

木聚糖酶活性的测定^[7]:以木聚糖为底物,以木糖为标品作标准曲线,测定生成的还原糖量。每分钟由底物生成 1 μmol 木糖所需的酶量为一个酶活单位。

漆酶活性测定^[8]:以 ABTS 为底物,依据吸光值变化测定酶活。每分钟氧化 1 μmol 底物所需要的酶量为 1 个酶活单位。

1.2.5 灵芝子实体营养成分测定

预处理:收获灵芝子实体,置于阴凉处干燥;用植物粉碎机加工粉碎,室温下储存。

粗蛋白测定:采用凯氏定氮法^[9]。

粗脂肪测定:采用 Soxhlet 抽提法。

多糖测定:采用苯酚-硫酸法^[10]。

氨基酸的测定:采用日立 835-50 型氨基酸自动分析仪。

水分、粗纤维、灰分按照常规方法测定。

2 结果与分析

2.1 以蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝生长性状比较

由表 1 可知,灵芝在蔗渣培养基和棉籽壳培养基上均可生长,并产生子实体。在培养条件一致的情况下,灵芝在蔗渣培养基中的菌丝生长速度为 1.8±0.5 cm/d,显著高于在棉籽壳培养基中的生长速度 1.4±0.5 cm/d。灵芝在蔗渣培养基中的菌丝长满栽培袋的时间比棉籽壳培养基减少 3 天;原基分化时间也比棉籽壳培养基的时间减少 3 天;菌柄增长、菌盖成熟、子实体收获所需的时间均比棉籽壳培养基的时间减少 1 天。以蔗渣培养基培养的灵芝子实体鲜重为 35.6±2.3 g,与棉籽壳培养基的 35.2±2.6 g 无显著差异。因两种培养基质的干重不同,蔗渣培养基的灵芝生物效率为 23.7±1.5%,显著高于棉籽壳培养基的 17.6±1.3%。

2.2 以蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝酶活分析

2.2.1 CMCase 酶活的测定

由图 1 可知,灵芝在以蔗渣和棉籽壳为基质的栽

培过程中, CMCase 酶活变化规律一致, 总体趋势为先升高再降低, 再升高后降低, 在第 40~60 天内保持平稳。两者都在灵芝菌丝期的第 20 d 达到第 1 个峰值, 分别为蔗渣培养基 0.42 ± 0.03 U/mL, 棉籽壳培养基 0.40 ± 0.05 U/mL。蔗渣培养基的灵芝 CMCase 酶活在

第 32 d 达到第 2 个峰值 0.45 ± 0.04 U/mL, 棉籽壳培养基的在第 36 d 达到第 2 个峰值最高值 0.32 ± 0.02 U/mL; 两种基质的 CMCase 酶活的第 2 个峰值都是在灵芝原基分化时期。在整个生长过程中, 蔗渣为基质的 CMCase 酶活均略高于棉籽壳基质, 但差距不大。

表 1 蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝生产性状对比

Table 1 Comparison of growth characteristics of *G lucidum* cultivated on bagasse and cottonseed hull substrates

基质	灵芝生长的不同阶段	生长的天数/d	培养条件			培养基干重/g	菌丝生长速度/(cm/d)	子实体鲜重/g	生物学效率/%
			温度/℃	光照时/h	RH/%				
蔗渣	菌丝生长	24~30	25±2	-	65~75	150	1.82±0.54 ^a	35.62±2.28	23.71±1.49 ^a
	原基分化	30~34	30±2	24	90~95				
	菌柄增长	34~45	28±2	24	70~80				
	菌盖成熟	45~57	30±2	24	85~95				
	子实体收获	57~61	30±2	24	85~95				
棉籽壳	菌丝生长	27~33	25±2	-	65~75	200	1.43±0.47 ^b	35.18±2.56	17.64±1.32 ^b
	原基分化	33~36	30±2	24	90~95				
	菌柄增长	36~46	28±2	24	70~80				
	菌盖成熟	46~58	30±2	24	85~95				
	子实体收获	57~62	30±2	24	85~95				

注: 表中数值为平均值±SD, n=6; 每列中不同上标字母代表数值间的差异显著 (p<0.05)。

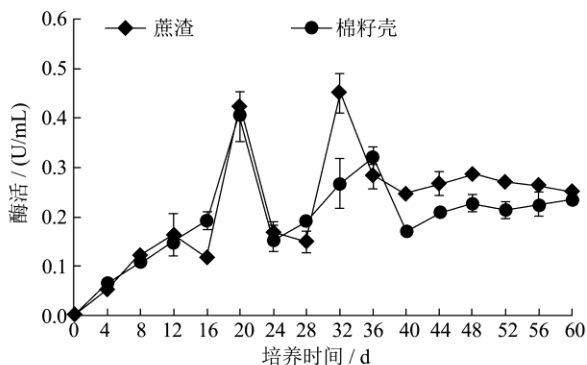


图 1 蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝 CMCase 酶活性对比

Fig.1 Comparison of CMCase activity of *G lucidum* cultivated on bagasse and cottonseed hull substrates

2.2.2 木聚糖酶活的测定

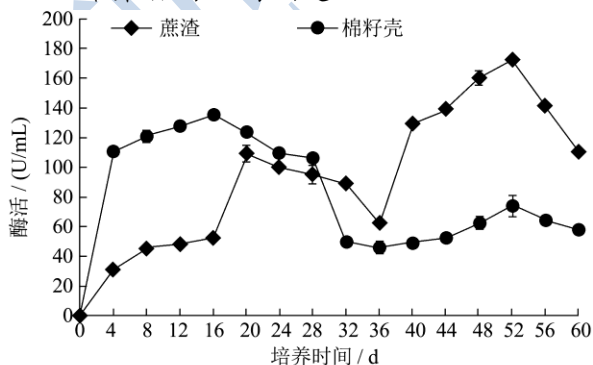


图 2 蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝木聚糖酶活性对比

Fig.2 Comparison of xylanase activity of *G lucidum* cultivated on bagasse and cottonseed hull substrates

由图 2 可知, 在培养的前 28 d, 棉籽壳为基质的木聚糖酶高于以蔗渣为基质的酶活; 第 28 d 后, 蔗渣培养基的木聚糖酶活性高于棉籽壳培养基的酶活。在菌丝生长期的第 16 d, 棉籽壳培养基的木聚糖酶活达到第 1 个峰值 135.0 ± 1.53 U/mL, 随后下降; 第 36 d 后又缓慢升高, 第 52 d 到达第 2 个峰值 73.9 ± 6.87 U/mL。蔗渣培养基的灵芝木聚糖酶活性分别在第 20 天和第 52 d 达到 2 个峰值, 分别为 109.18 ± 5.75 U/mL 和 172.05 ± 2.04 U/mL。虽然蔗渣培养基的木聚糖酶达到酶活高峰的时间较晚, 但峰值较高。

2.2.3 漆酶的测定

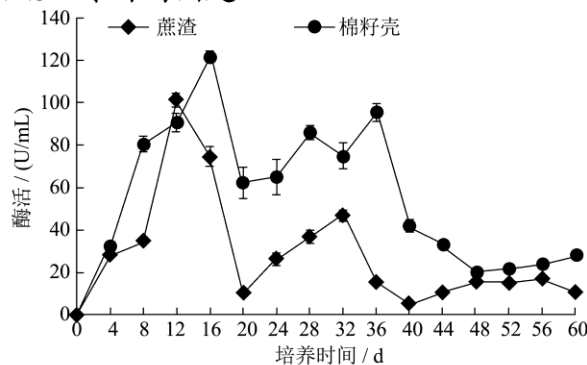


图 3 蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝漆酶活性对比

Fig.3 Comparison of laccase activity of *G lucidum* cultivated on bagasse and cottonseed hull substrates

由图 3 可知, 灵芝在两种培养基质中的漆酶酶活变化规律基本一致, 棉籽壳培养基的灵芝漆酶活性总

体上高于蔗渣培养基的漆酶活性。在第 16 d 和第 36 d, 棉籽壳培养基的灵芝漆酶活性达到最高, 分别为 121.88 ± 2.62 U/mL 和 95.49 ± 4.14 U/mL; 蔗渣培养基的灵芝漆酶活性在第 12 d 和第 32 d 达到了最高, 分别为 101.46 ± 3.21 U/mL 和 46.94 ± 2.65 U/mL。

2.3 以蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝子实体营

养成成分分析

2.3.1 主要营养成分分析

表 2 蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝子实体营养成分对比

Table 2 Comparison of nutrients in the fruiting body of *G. lucidum* cultivated on bagasse and cottonseed hull substrates

营养成分	蔗渣基质/%	棉籽壳基质/%
水分	6.20 ± 0.55^a	4.37 ± 0.18^a
粗蛋白	22.04 ± 0.07	21.25 ± 0.04
粗脂肪	2.73 ± 0.03^a	2.19 ± 0.02^b
多糖	4.15 ± 0.03^a	1.09 ± 0.02^b
粗纤维	34.19 ± 3.15^a	25.12 ± 1.52^b
灰分	3.94 ± 1.08^b	5.63 ± 0.29^a

注: 表中数值为平均值 \pm SD, n=3; 每列中不同上标字母代表数值间的差异显著 ($p < 0.05$)。

以蔗渣和以棉籽壳为基质栽培的灵芝子实体主要营养成分如表 2 所示。由表 2 可知, 蔗渣培养基的灵芝子实体粗脂肪、多糖和粗纤维含量均高于棉籽壳培养基的灵芝子实体; 而灰分含量显著低于棉籽壳培养基的灵芝子实体, 说明蔗渣培养基栽培的灵芝子实体含有更少的矿物元素。

2.3.2 氨基酸含量分析

以蔗渣和以棉籽壳为基质栽培的灵芝子实体的氨基酸含量如表 3 所示。由表 3 可知, 两种培养基栽培的灵芝子实体均含有人体所需的 18 种氨基酸, 包括 8 种必需氨基酸。棉籽壳培养基的灵芝子实体氨基酸总量为 15.466%, 必需氨基酸量为 6.672%, 必需氨基酸占氨基酸总量为 43.14%, 均高于蔗渣培养基的灵芝子实体。

3 讨论

3.1 培养基质对灵芝生长性状的影响

碳源是提供食用菌生长的重要营养物质, 食用菌吸收的碳源 20% 用来合成细胞原生质和细胞壁的物质, 80% 用来作为食用菌生长发育的能量。食用菌菌丝易于吸收利用可溶性碳源, 如单糖、双糖、淀粉等, 对水不溶性的纤维素、半纤维素、木质素等有较强的

分解能力。早期研究表明, 食用菌利用较快的碳源是蔗糖、葡萄糖、麦芽糖等^[11]。

表 3 蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝子实体氨基酸含量对比

Table 3 Comparison of amino acid content of *G. lucidum* cultivated on bagasse and cottonseed hull substrates

氨基酸种类	蔗渣基质/%	棉籽壳基质/%
天冬氨酸 (Asp)	0.618	0.863
丝氨酸 (Ser)	0.552	0.786
谷氨酸 (Glu)	0.534	0.874
甘氨酸 (Gly)	0.506	0.637
组氨酸 (His)	0.434	0.546
丙氨酸 (Ala)	0.581	0.791
脯氨酸 (Pro)	0.446	0.692
半胱氨酸 (Cys)	0.090	0.084
酪氨酸 (Tyr)	0.480	0.714
精氨酸 (Arg)	1.907	2.807
缬氨酸 (Val) *	0.552	0.837
蛋氨酸 (Met) *	0.227	0.367
赖氨酸 (Lys) *	0.467	0.664
异亮氨酸 (Ile) *	0.421	0.701
亮氨酸 (Leu) *	0.657	1.162
苯丙氨酸 (Phe) *	0.290	0.551
苏氨酸 (Thr) *	0.611	0.849
色氨酸 (Trp) *	1.027	1.541
氨基酸总量	10.400	15.466
必需氨基酸量	4.252	6.672
必需氨基酸量/氨基酸总量	40.885	43.140

注: *为人体必需氨基酸。

在本实验中, 因蔗渣培养基中的蔗渣是由糖厂压榨工段榨出, 其中尚含有蔗糖、葡萄糖和果糖等残糖, 可供灵芝菌丝优先利用, 这可能是蔗渣培养基的菌丝生长速度显著高于棉籽壳培养基, 生长周期比棉籽壳培养基生产周期缩短 1 天的原因。同时, 蔗渣的体积密度较棉籽壳小, 同样的栽培袋体积, 蔗渣培养基装了 150 g 干料, 棉籽壳培养基装了 200 g 干料, 蔗渣培养基的基质空隙更大, 溶氧量更高, 利于菌丝的生长, 也是蔗渣培养基菌丝生长速度较快的原因之一。同样的原因, 即使两种培养基获得的灵芝子实体产量没有显著差异 (表 1), 因为培养基干重的差异, 使得蔗渣培养基的灵芝子实体生物学效率更高, 灵芝菌种能更高效地利用蔗渣培养基中的各种养分。当栽培袋中培养基均为 150 克干重时, 以蔗渣为基质的灵芝生物学效率也比以锯末、稻秸秆、稻糠 (22.5:67.5:10), 锯末、酒糟颗粒 (4:1), 木屑、茶叶废料 (80:20) 等为

栽培基质的灵芝生物学效率高^[12-14]。

3.2 培养基质对灵芝生长过程相关酶活的影响

真菌胞外纤维素酶一般以CMCase为主, 基质中纤维素酶活性的变化和强弱在一定程度上反映出菌丝生理生化的活跃程度和基质中化学成分的降解特性。本实验中, 以蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝CMCase酶活变化规律基本一致。蔗渣为基质的CMCase酶活均略高于棉籽壳基质, 但差距不大。与前人研究的培养料成分只影响酶活性大小, 不影响酶活性变化规律相一致^[15-16]。两种培养基的灵芝酶活差距小的原因可能与蔗渣和棉籽壳中的纤维素含量相差较小有关。

半纤维素酶是食用菌一种极为重要的酶, 因为半纤维素在植物的纤维物质中起粘接作用, 半纤维素的降解可以促进纤维素及整个纤维素类物质的降解。木聚糖酶对半纤维素具有降解作用。本实验中, 蔗渣培养基的灵芝木聚糖酶的最高酶活高于棉籽壳培养基, 可能与蔗渣的半纤维素含量高于棉籽壳有关, 蔗渣的半纤维素含量占33%, 棉籽壳的半纤维含量仅为5%。

漆酶是与木质素等大分子物质降解有关的主要酚氧化酶, 它对木质素的分解起着相当重要的作用^[17]。食用菌的胞外漆酶活性越强, 菌株分解木质素的能力就越强。由于棉籽壳中含有40%的木质素和少量的棉酚, 蔗渣中仅有18%的木质素, 棉籽壳中较高的木质素和酚类物质可以诱导菌丝体产生较多的漆酶, 所以棉籽壳培养基的灵芝菌丝的漆酶活性较高。

综合两种培养基的灵芝酶活变化曲线, 可以看出CMCase、木聚糖酶和漆酶活性在灵芝菌丝生长期和子实体生长期各有一个峰值。在蔗渣培养基的第20天时, 纤维素酶活、木聚糖酶活同时达到峰值, 第32天时, 纤维素酶和漆酶同时达到峰值。在棉籽壳培养基的第16天, 木聚糖酶和漆酶同时达到峰值。说明在灵芝生长发育过程中, 分泌到培养基中的多种胞外酶需要共同协作才能将培养基中的纤维素、半纤维素、木质素等高聚物转化为低分子化合物被菌丝吸收利用, 维持灵芝菌丝生长及出芝的能量。

3.3 培养基质对灵芝子实体营养成分的影响

两种培养基得到的灵芝子实体的粗蛋白和粗脂肪含量差异不大; 棉籽壳培养基的灵芝子实体中灰分含量显著高于以棉籽壳为基质的灵芝子实体, 可能源于两种培养基中的灰分差异; 棉籽壳中的灰分含量为4.26%, 甘蔗渣中的灰分为2.3%^[21]。蔗渣培养基的灵

芝子实体中多糖和粗纤维含量较高; 棉籽壳培养基的灵芝子实体中必需氨基酸比例较高; 原因有待于进一步研究。因本实验的灵芝子实体为自然风干的, 水分含量有差异, 蔗渣培养基的灵芝子实体的水分为 6.20 ± 0.55 , 而棉籽壳培养基的为 4.37 ± 0.18 ; 这也可能造成实验中灵芝子实体营养成分含量测定的偏差。

4 结论

蔗渣主要产自甘蔗制糖业, 90%的蔗渣被用作燃料, 综合利用率很低。棉籽壳是多种食用菌的栽培基质, 价格高于蔗渣。本研究首次对比以蔗渣和棉籽壳为基质的灵芝栽培, 对两种培养基中灵芝生长过程的生长性状、相关酶活变化规律和灵芝子实体的营养成分进行测定, 结果表明: 以蔗渣为基质栽培的灵芝菌丝生长速度较快、生物学效率较高, 生长周期比棉籽壳培养基的缩短1d。灵芝在以蔗渣和棉籽壳为基质的栽培过程中, CMCase、木聚糖酶和漆酶活性变化规律基本一致, 两种培养基的灵芝三种酶活在菌丝生长期和子实体生长期各有一个峰值。以蔗渣为基质的灵芝CMCase和木聚糖酶的活性较高, 漆酶活性总体低于棉籽壳为基质的灵芝。蔗渣为基质栽培的灵芝子实体的粗脂肪、多糖和粗纤维含量较高; 而灰分含量、氨基酸总量、必需氨基酸量、必需氨基酸占氨基酸总量的比值均低于棉籽壳为基质的灵芝子实体。

参考文献

- [1] Wang L, Wu D, Tang P, et al. Effect of organic acids found in cottonseed hull hydrolysate on the xylitol fermentation by candida tropicalis [J]. Bioprocess and Biosystems Engineering, 2013, 36(8): 1053-1061
- [2] Bian J, Peng P, Peng F, et al. Microwave-assisted acid hydrolysis to produce xylooligosaccharides from sugarcane bagasse hemicelluloses [J]. Food Chemistry, 2014, 156: 7-13
- [3] 罗连光, 李先, 贺爱国, 等. 不同微生物菌剂对甘蔗滤泥腐解效果的影响[J]. 湖南农业科学, 2008(6): 61-62
LUO Lian-guang, LI Xian, HE Ai-guo, et al. Effects of different microbial agents on fermentation of bagasse sludge in composting [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2008(6): 61-62
- [4] 方白玉, 郑传进, 柯野. 蔗渣栽培赤芝的配方初探[J]. 食用菌, 2006(3): 27-28
FANG Bai-yu, ZHENG Chuan-jin, KE Ye. Formulation studies on ganoderma lucidum cultivated in bagasse [J]. Edible Fungi, 2006(3): 27-28
- [5] Hu L, Ma Q, Huang S, et al. A new nortriterpenoid from the

- fruiting bodies of *ganoderma tropicum* [J]. *Phytochemistry Letters*, 2014, 7: 11-13
- [6] Liang Z, Yi Y, Guo Y, et al. Chemical characterization and antitumor activities of polysaccharide extracted from *ganoderma lucidum* [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2014, 15(5): 9103-9116
- [7] Manavalan T, Manavalan A, Thangavelu K P, et al. Secretome analysis of *ganoderma lucidum* cultivated in sugarcane bagasse [J]. *Journal of Proteomics*, 2012, 77: 298-309
- [8] Aracri E, Roncero MB, Vidal T. Studying the effects of laccase-catalysed grafting of ferulic acid on sisal pulp fibers [J]. *Bioresour Technol*, 2011, 102: 7555-7560
- [9] Jamdar S N, Rajalakshmi V, Pednekar M D, et al. Influence of degree of hydrolysis on functional properties, antioxidant activity and ace inhibitory activity of peanut protein hydrolysate [J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(1): 178-184
- [10] Zhou H, Bi P, Wu X, et al. Improved polysaccharide production in submerged culture of *ganoderma lucidum* by the addition of coixenolide [J]. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2014, 172(3): 1497-1505
- [11] 顾芳红,殷红,马劲.碳、氮源对猪苓菌丝生长与胞外多糖含量的影响[J].西北大学学报(自然科学版),2001,5(10): 437-440
- GU Fang- Hong, YIN Hong, MA Jin. The influences of different carbon and nitrogen sources on mycelial growth and extracellular polysaccharide yields of *polyporus umbellatus* [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2001, 5(10): 437-440
- [12] Peksen A, Yakupoglu G. Tea waste as a supplement for the cultivation of *ganoderma lucidum* [J]. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2009, 25: 611-618
- [13] Veena SS, Pandey M. Paddy straw as a substrate for the cultivation of lingzhi or reishi medicinal mushroom, *ganoderma lucidum* (W.Curt.: Fr.)P. Karst. in India [J]. *Int. J. Med. Mushrooms*, 2011, 13: 397-400
- [14] Yang F C, Hsieh C, Chen H M. Use of stillage grain from a rice-spirit distillery in the solid state fermentation of *ganoderma lucidum* [J]. *Process Biochem.*, 2003, 39: 21-26
- [15] 周长青,王秀峰,李玉.白灵菇生长发育过程中胞外酶活性的变化规律[J].食用菌学报,2008,15(2):64-68
- ZHOU Chang- qing,WANG Xiu-feng,LI Yu. Extracellular enzyme production by *pleurotus nebrodensis* at different developmental stages [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2008, 15(2): 64-68
- [16] 谢君,孙迅,任路,等.侧耳菌与粗毛栓菌在麦草培养基中产生木质纤维素降解酶的研究[J].生物工程学报, 2001, 17(5):275-278
- XIE Jun,SUN Xun, REN Lu, et al. Studies on lignocellulolytic enzymes production and biomass degradation of *pleurotus sp2* and *trametes gallica* in wheat straw cultures [J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2001, 17(5): 275-278
- [17] Wood D A. Production and properties of extracellular laccase of *bisporus* [J]. *Journal of General Microbiology*, 1980, 117: 327-338