

# 不同蜜环菌菌株对木质纤维素利用率研究

杨 静<sup>1,2</sup>, 桂 阳<sup>2,3</sup>, 黄万兵<sup>2</sup>, 杨 梅<sup>1,2</sup>, 朱国胜<sup>2,3</sup>, 刘朝贵<sup>1</sup>

(1. 西南大学 园艺园林学院, 重庆 400716; 2. 贵州省现代中药材研究所, 贵州 贵阳 550006;

3. 贵州省农业生物技术重点实验室, 贵州 贵阳 550006)

**摘 要:**以蜜环菌菌株为试材,通过测定 2 个生长时期 8 株蜜环菌木质纤维素利用率、生长速度、胞外酶活性,分析三者之间的相关性,揭示不同蜜环菌降解利用基质的差异和规律。结果表明:培养 20 d 时,菌株 KY4 的木质纤维素利用率都高于其它菌株;培养 40 d 时,菌株 KY5 的木质纤维素总利用率最高;2 个生长期生长速度最快的都是菌株 DJ1;通过差值分析,40 d 时纤维素酶活性大于 20 d,20 d 时漆酶活性大于 40 d,半纤维素酶活性变化无规律;*A. mellea*、*A. cepistipes* 纤维素利用率与纤维素酶活性呈正相关,*A. gallica* 纤维素利用率与纤维素酶活性呈负相关。

**关键词:**蜜环菌;木质纤维素;生长速度;胞外酶;相关性

**中图分类号:**S 567.3<sup>+</sup>9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)11-0133-05

蜜环菌是一种在夏、秋季发生,能兼性寄生于多种木本、草本植物的药食用菌,隶属于真菌界,担子菌门,伞菌纲,伞菌目,膨瑚菌科,蜜环菌属<sup>[1-3]</sup>,是仅有的几个具有菌索的种类之一,俗称榛蘑<sup>[4]</sup>。已报道的蜜环菌生物种有 36 种,我国记载 15 种,主要分布于黑龙江、吉林、辽宁、河南、河北、山西、山东、甘肃、陕西、青海、新疆、四川、安徽、福建、浙江、湖南、湖北、云南、贵州、广西、海南、内蒙古、西藏及台湾等省区<sup>[5]</sup>。

蜜环菌是一种药食兼用菌,美味可口,且子实体、菌

丝、菌索都可入药,国外最早报道蜜环菌可以引起多种针叶树和阔叶树根腐病,其寄主植物多达 300 属,但并非完全致病,相反有些被蜜环菌侵染的植物生长旺盛,有的必须有该菌侵染,植物才能正常生长发育。例如中药天麻和猪苓必须依靠蜜环菌浸染提供营养才能生长繁殖,因此,引起国内外学者对该菌研究的极大兴趣<sup>[6-8]</sup>。木质纤维素是由木质素、纤维素和半纤维素构成的高分子复合物,是植物细胞壁主要结构框架<sup>[9]</sup>。这些物质不能被蜜环菌细胞吸收,首先必须分泌能降解这些高分子物质的胞外酶,将其分解成可溶于水易被吸收的小分子物质,并吸收转化为自身营养物质,满足自身生长发育的需要<sup>[10]</sup>。胞外酶是指一类在细胞内合成而在细胞外起作用的酶。包括位于细胞外表面或细胞外质空间的酶,也指释放入培养基的酶<sup>[11]</sup>。胞外酶活性的存在是食用菌对培养基降解利用的前提,分析木质纤维素利用率与酶活的关系,有助于深入了解栽培基质的降解规律,以及菌株在生长过程中利用栽培基质的规律。该研究通过对 2 个生长时期的 8 株蜜环菌木质纤维素利用率测定,以及与生长速度和对对应酶活性的相关性分析,探索不同蜜环菌生物种之间的差异以及蜜环菌降解利用木质纤维素的规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试菌株是贵州省现代中药材研究所重点实验室分离保存的蜜环菌,详见表 1。

**第一作者简介:**杨静(1988-),女,贵州施秉人,硕士研究生,研究方向为食用菌。E-mail:364415209@qq.com

**责任作者:**朱国胜(1971-),男,博士,研究员,硕士生导师,研究方向为食药两用菌及中药材。E-mail:xndxlcg@163.com

**基金项目:**贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资助项目(黔科合人字(2011)35 号);贵州省科技计划资助项目(黔科合院所创能(2010)4002);中央补助地方科技基础条件专项基金资助项目(黔科条中补地(2010)4002);贵州省中药现代化科技产业研究开发专项资助项目(黔科合中药字[2011]5035 号);贵州省农业科学院研究生创新基金资助项目(黔农科合(创新基金)2011016 号);贵州省农业科学院专项资助项目(黔农科院院专项[2012]020 号);贵州省中药现代化科技产业研究开发专项资助项目(黔科合成字[2013]5017 号);贵州省中药现代化科技产业研究开发专项资助项目(黔科合 SY 字[2014]3034-4 号);贵州省农业科学院专项资助项目(黔农科院院专项[2014]035 号);贵州省科技计划资助项目(黔科合农 G 字[2014]4002);贵州省科研机构服务企业行动计划资助项目(黔科合服企[2014]4006 号)。

**收稿日期:**2015-01-19

表 1 供试菌株信息

Table 1 Information of tested strains

菌株 Strains	种名 Species	采集点 Collection site	分离来源 Source
KY4	<i>Armillaria mellea</i>	开阳县 Kaiyang	子实体 Fruit body
HZ2	<i>Armillaria cepistipes</i>	赫章县 Hezhang	菌索 Rhizomorph
KY5	<i>Armillaria mellea</i>	开阳县 Kaiyang	子实体 Fruit body
DJ5	<i>Armillaria gallica</i>	德江县 Dejiang	菌丝 Mycelia
SB4	<i>Armillaria cepistipes</i>	施秉县 Shibing	菌索 Rhizomorph
LS3	<i>Armillaria gallica</i>	雷山县 Leishan	子实体 Fruit body
SY1	<i>Armillaria mellea</i>	绥阳县 Suiyang	菌索 Rhizomorph

培养基:70%杂木屑,17%麦麸,10%玉米面,1%蔗糖,0.3%磷酸二氢钾,0.2%硫酸镁,0.5%石灰,1.0%石膏,料水比1:1.3。

DNS试剂:参照国家标准 GB/T 23881-2009<sup>[12]</sup> 配置。中性试剂:将 18.61 g EDTA(乙二胺四乙酸二钠)和 6.81 g 硼砂放入烧杯中加水 250 mL,加热使之溶解;将 30 g 十二烷基硫酸钠和 10 mL 乙二醇乙醚溶液,用 200 mL 水加热溶解,并于上液;将 4.56 g 磷酸氢二钠溶于 150 mL 热水中,并于上液;将上面混合溶液冷却至室温,用磷酸调节混合液 pH 至 6.9~7.1,然后转至 1 L 容量瓶中定容(如溶液有沉淀产生,需在使用前加热到 60℃是沉淀溶解)。2 M 盐酸溶液<sup>[13]</sup>:167 mL 浓盐酸(比重 1.19)用蒸馏水定容至 1 L。72%硫酸溶液:665 mL 98%浓硫酸(比重 1.84)加入 300 mL 水中,冷至 20℃,补加水至 1 L。地衣酚试剂<sup>[13]</sup>:0.1 g FeCl<sub>3</sub>,溶于 100 mL 37%的浓盐酸中,之后加入 0.2 g 地衣酚,现用现配。蒽酮试剂:0.2 g 蒽酮溶于 100 mL 浓硫酸(分析纯,比重 1.84)中,用时现配。

## 1.2 试验方法

1.2.1 样品准备 在 2 个生长期(20、40 d)进行取样,分成 2 份,一份用于胞外酶活性测定,另一份磨碎后用于测定木质纤维素的利用率。

1.2.2 粗酶液的提取 取三级菌种 10 g 加水至 50 mL,25℃浸提 4 h,10 000 r/min 离心 5 min,吸取上层清液即可。

## 1.3 项目测定

1.3.1 纤维素、半纤维素、木质素的含量测定 参照徐文玉等<sup>[14]</sup>方法测定和计算。

1.3.2 蜜环菌胞外酶活性测定 纤维素酶、木聚糖酶和漆酶活力测定以及活力单位分别参考文献<sup>[15-19]</sup>的方法。

1.3.3 纤维素利用率计算方法 纤维素利用率(%)=(A-B)/A×%,A 是培养菌丝之前杂木屑中纤维素含量,B 是培养菌丝之后杂木屑中纤维素含量,半纤维素

和木质素、木质纤维素总利用率计算方法同纤维素。

## 1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 进行整理和计算,SPSS 17.0 检测显著性。采用 Pearson 相关对木质纤维素与其对应胞外酶活、菌丝生长速度的相关性进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同蜜环菌菌株菌丝生长速度分析

由表 2 可知,菌株 DJ1 的生长速度在 20 d 和 40 d 都是最快的,分别达到 0.37500 cm/d 和 0.43429 cm/d,与其它菌株之间存在显著性差异;菌株 SB4 在 20 d 和 40 d 的生长速度最慢,分别只有 0.10333 cm/d 和 0.11143 cm/d,显著低于其它菌株。通过差值比较发现菌株 HZ2 和 KY5 最小,为负值,分别为-0.004 cm/d 和-0.012 cm/d,菌株 SY1 和 KY4 2 个时期生长速度差值最大,分别是 0.061 cm/d 和 0.069 cm/d。

表 2 不同菌株生长速度比较

Table 2 Comparison of different strains growth rate cm/d

菌株编号 Strains	d <sub>20</sub> 20 days	d <sub>40</sub> 40 days	差值 D-Value
KY4	0.27833e	0.34762d	0.069b
HZ2	0.19167c	0.18762b	-0.004a
KY5	0.13333ab	0.12095a	-0.012a
DJ1	0.37500g	0.43429e	0.0590b
DJ5	0.14833b	0.17810b	0.030ab
SB4	0.10333a	0.11143a	0.008a
LS3	0.24000d	0.29810c	0.058b
SY1	0.31500f	0.37619d	0.061b

注:d<sub>20</sub>为培养 20 d 时测定的生长速度,d<sub>40</sub>为培养 40 d 时测定的生长速度。

Note:d<sub>20</sub> defined as growth rate measured 20 days of culture, defined as growth rate measured 40 days of culture.

### 2.2 不同蜜环菌菌株胞外酶活性差异性比较

由表 3 可知,20 d 时纤维素酶活性最高的是菌株 DJ5,达到 341.96 U/L,菌株 KY4 最低仅有 69.66 U/L,木聚糖酶活性最高的菌株是 DJ1,达到 3 812.90 U/L;菌株 SB4 在菌丝生长期木聚糖酶活性都低于其它菌株。漆酶活性最高的菌株是 HZ2,最低的是菌株 SY1。培养 40 d 时菌株 HZ2 的纤维素酶和木聚糖酶活性都最大,漆酶活性在 40 d 时 8 个菌株之间没有显著性差异;通过 2 个时期酶活性的差值比较显示菌株 LS3 的纤维素酶活力提高最多,菌株 DJ5 提高最少,木聚糖酶活力提高最大的是菌株 HZ2,提升最少的是菌株 DJ1,漆酶差值均为负的,最大的是菌株 SY1,最小的为菌株 SB4,分别是-2.79 和-29.16。通过极差比较显示在 2 个生长期极差最大的均是木聚糖酶活性,极差最小的均是漆酶活性。

表 3 不同菌株在固体培养基纤维素酶、木聚糖酶、漆酶活性差异

Table 3 Comparison of different strains cellulase, xylanase, laccase activity in solid culture medium

菌株 Strains	纤维素酶 Cellulase/(U·L <sup>-1</sup> )		纤维素酶差值	木聚糖酶 Xylanase/(U·L <sup>-1</sup> )		木聚糖酶差值	漆酶 Laccase/(U·L <sup>-1</sup> )		漆酶差值
	d <sub>20</sub>	d <sub>40</sub>	D-value of cellulase	d <sub>20</sub>	d <sub>40</sub>	D-value of xylanase	d <sub>20</sub>	d <sub>40</sub>	D-value of laccase
KY4	69.66a	631.38ab	561.73bc	3 317.34b	2 167.41ab	-1 149.93a	16.85a	6.74a	-10.11b
HZ2	274.83cb	780.55c	505.72bc	1 112.46a	3 367.76b	2 255.30b	37.74b	9.66a	-28.08a
KY5	287.48bc	656.42ab	368.94ab	2 400.39ab	1 673.24ab	-727.15a	19.57a	7.09a	-12.48b
DJ1	134.53ab	519.90a	385.37ab	3 812.90b	2 100.18ab	-1 712.71a	20.44a	10.93a	-9.51b
DJ5	341.96c	576.70a	234.73a	1 235.35a	1 710.09ab	474.74ab	16.16a	10.72a	-5.44b
SB4	230.53abc	741.55b	511.02bc	967.83a	1 383.83a	416.00ab	35.56b	6.39a	-29.16a
LS3	110.91ab	769.22c	658.30c	2 536.38ab	2 677.92ab	141.54ab	14.23a	8.13a	-6.09b
SY1	80.21a	590.49ab	510.29bc	1 098.73a	1 884.01ab	785.28ab	13.81a	11.02a	-2.79b
极差(Range)	272.30	260.65		2 845.07	1 983.93		23.93	4.63	

注:d<sub>20</sub>为培养 20 d 时测定的胞外酶活性,d<sub>40</sub>为培养 40 d 时测定的胞外酶活性。不同小写字母代表  $P<0.05$  水平差异显著性,下同。

Note:d<sub>20</sub> defined as activity of extracellular enzyme measured 20 days of culture,d<sub>40</sub> defined as activity of extracellular enzyme measured 40 days of culture. Values followed by the different letters are significantly difference at  $P<0.05$ , the same below.

## 2.3 不同菌株间木质纤维素利用率的变化

由表 4 可以看出,在显著水平  $\alpha=0.05$  下,培养 20 d 时菌株 KY4 的纤维素、半纤维素和木质素利用率都高于其它菌株,分别是 24.06%、31.48%、87.65%,纤维素和半纤维素利用率最小的菌株分别是菌株 SB4 和菌株 KY5,木质素利用率最小的是菌株 DJ5;40 d 时,纤维素与半纤维素利用率最大的是菌株 KY5,分别是 41.43% 和 69.31%,木质素利用率最大的是菌株 SB4 和 DJ1,纤维素和半纤维素利用率最小的是菌株 DJ1,木质素利用率最小的是菌株 DJ5 和菌株 SY1。对于总利用率的分

析得出培养 20 d 时菌株 KY4 对于木质纤维素的总利用率显著高于其它菌株,在 40 d 时发现 8 个菌株之间对于总的木质纤维素利用率不存在显著性差异;通过 2 个时期差值的比较发现菌株 KY5、DJ5 的差值最大,菌株 KY4、DJ1 的差值最小。对于木质纤维素消耗总量差值大的菌株在前期消耗较小在后期消耗较大,差值小的则相反。通过对不同菌株的木材利用率比较,结合材料分析得到蜜环菌菌丝生长期发现 *A. mellea* 对于纤维素和半纤维素利用率较高于 *A. cepstipes* 和 *A. gallica*,*A. cepstipes* 和 *A. gallica* 在木质素利用率上高于 *A. mellea*。

表 4 蜜环菌纤维素、半纤维素、木质素利用率

Table 4 Utilization of cellulose, hemicellulose and lignin in *Armillaria*

菌株 Strains	纤维素利用率 Utilization of cellulose/%		半纤维素利用率 Utilization of hemicellulose/%		木质素利用率 Utilization of lignin/%		木质纤维总利用率 Utilization of total/%		总量差值 D-Value of total
	d <sub>20</sub>	d <sub>40</sub>	d <sub>20</sub>	d <sub>40</sub>	d <sub>20</sub>	d <sub>40</sub>	d <sub>20</sub>	d <sub>40</sub>	
KY4	24.06f	40.43c	31.48d	59.81bc	87.65f	87.66ab	71.70d	77.24a	5.54a
HZ2	18.40e	33.80bc	24.80bc	67.29c	80.94e	86.27ab	65.72c	75.68a	9.97a
KY5	17.36de	41.43c	17.50a	69.31c	19.16c	87.54ab	17.83b	78.11a	60.29b
DJ1	12.85bc	20.55ab	19.82abc	38.52a	83.10e	89.41b	65.47c	73.43a	7.97a
DJ5	10.81ab	34.75bc	18.58ab	59.73bc	3.85a	82.91a	7.71a	72.73a	65.02b
SB4	7.82a	15.66a	24.08bc	43.83ab	20.66cd	89.97 b	18.21b	73.43a	55.22b
LS3	14.46cd	31.96bc	31.88d	47.57ab	12.02b	87.33ab	10.48a	66.26a	55.78b
SY1	13.47bc	37.34bc	18.07ab	43.83ab	16.71c	82.52a	16.44b	71.62a	55.17b

注:d<sub>20</sub>为培养 20 d 时测定的木质纤维素利用率,d<sub>40</sub>为培养 40 d 时测定的木质纤维素利用率。

Note:d<sub>20</sub> defined as utilization of lignocellulose measured 20 days of culture,d<sub>40</sub> defined as utilization of lignocellulose measured 40 days of culture.

## 2.4 不同菌株木质纤维素利用率与对应固体基质胞外酶活性、生长速度的相关性分析

由表 5~7 可知,不同菌株木质纤维素利用率与对应固体基质胞外酶活性、生长速度的相关性,菌株 KY4 纤维素利用率与纤维素酶活性、生长速度三者之间的相关性呈

正相关;菌株 SB4 木质素利用率与漆酶活性、生长速度之间呈负相关;菌株 DJ1 木质素利用率与生长速度呈正相关,而与漆酶活性呈负相关,漆酶活性与生长速度呈负相关;菌株 KY5 木质素利用率与生长速度呈负相关,与漆酶活性呈正相关,漆酶活性与生长速度也呈负相关。

表 5 木质纤维素利用率与生长速度的相关性

Table 5 Correlation between utilization of lignocellulose and growth rate statistical

	KY4	HZ2	KY5	DJ1	DJ5	SB4	LS3	SY1
纤维素 Cellulose	0.985 **	0.720	-0.919 **	0.614	-0.376	-0.800	0.081	0.947 **
半纤维素 Hemicellulose	0.963 **	0.809	-0.994 **	-0.013	-0.446	-0.921 **	-0.044	0.947 **
木质素 Lignin	-0.000	0.976 **	-0.998 **	0.969 **	-0.558	-0.994 **	0.307	0.994 **

注:\* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关;\*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。下同。

Note:\* represent significant correlation at the 0.05 level;\*\* represent significant correlation at the 0.01 level. The same below.

表 6

木质纤维素利用率与对应固体基质胞外酶活性的相关性

Table 6 Correlations between utilization of lignocellulose and activity of extracellular enzyme in solid matrix

	KY4	HZ2	KY5	DJ1	DJ5	SB4	LS3	SY1
纤维素 Cellulose	0.961 * *	0.782	0.770	0.630	0.974 * *	0.786	0.800	0.977 * *
半纤维素 Hemicellulose	-0.802	0.698	-0.473	0.199	0.907 *	0.396	0.223	0.612
木质素 Lignin	0.457	-0.730	0.961 * *	-0.899 *	-0.823 *	-0.818 *	-0.920 * *	-0.559

表 7

纤维素酶、木聚糖酶、漆酶活性与生长速度的相关性

Table 7 Correlation between activity of cellulase, xylanase, laccase and growth rate

	KY4	HZ2	KY5	DJ1	DJ5	SB4	LS3	SY1
纤维素酶 Cellulase	0.990 * *	0.903 *	-0.872 *	0.971 * *	-0.200	-0.832 *	0.333	0.979 * *
木聚糖酶 Xylanase	-0.915 *	0.770	0.505	-0.918 * *	-0.141	-0.407	-0.083	0.716
漆酶 Laccase	-0.842 *	-0.832 *	0.961 * *	-0.836 *	0.485	0.798	-0.362	-0.579

## 2.5 不同生物种木质纤维素利用率与对应固体基质胞外酶活性、生长速度的相关性分析

表 8 表明,生物种 *A. mellea* 纤维素利用率与纤维素酶活性之间呈极显著正相关,相关系数为 0.835,木质素利用率与漆酶活性呈显著负相关,相关系数为-0.538;生物种 *A. cepistipes* 纤维素、半纤维素与其对应的酶活

性呈显著正相关,相关系数分别为 0.672、0.692,生长速度与木质素利用率呈极显著负相关,相关系数是-0.936;生物种 *A. gallica* 纤维素利用率与纤维素酶活性之间呈极显著负相关,相关系数为 0.738;其它相关系数都较低。

表 8

不同生物种木质纤维素利用率与对应固体基质胞外酶活性,生长速度的相关性

Table 8 Correlation between lignocellulosic utilization of different species and activity of extracellular enzyme, growth rate

生物种 Biological species	纤维素酶 Cellulase	木聚糖酶 Xylanase	漆酶 Laccase	生长速度 Growth rate
<i>Armillaria mellea</i>	纤维素 Cellulose	0.835 * *	—	0.266
	半纤维素 Hemicellulose	—	-0.071	0.039
	木质素 Lignin	—	-0.538 *	0.032
	生长速度 Growth rate	0.438	0.029	-0.081
<i>Armillaria cepistipes</i>	纤维素 Cellulose	0.672 *	—	-0.426
	半纤维素 Hemicellulose	—	0.692 *	-0.257
	木质素 Lignin	—	-0.514	-0.936 * *
	生长速度 Growth rate	-0.439	-0.082	0.303
<i>Armillaria gallica</i>	纤维素 Cellulose	0.738 * *	—	-0.028
	半纤维素 Hemicellulose	—	-0.001	-0.314
	木质素 Lignin	—	-0.311	0.350
	生长速度 Growth rate	0.202	0.097	-0.298

## 3 结论与讨论

该试验从 8 种不同蜜环菌菌株的木材利用率、生长速度、3 种胞外酶活性测定以及通过他们之间的相关性分析得出,菌株 SY1 木质纤维素利用率都低于其它菌株,与生长速度的相关性较高,且呈正相关,但其生长速度却仅次于菌株 DJ1,菌株 SY1 属于 *A. mellea* 生物种,具有很强的侵染力,是多种林木的病原菌<sup>[4]</sup>,有可能菌株 SY1 虽利用木质纤维素较低,但其转换为自身营养物质的能力较高;在植物组织中木质素与半纤维素以共价键形式结合,并将纤维素分子包埋其中,所以微生物需先有效降解包裹在纤维素晶体外面的木质素以及半纤维素,使纤维素易于降解<sup>[20]</sup>,菌株 DJ1 的生长速度都较高于其它菌株,归类于 *A. gallica* 的菌株 DJ1 木质素利用率较高且与生长速度呈极显著正相关,*A. gallica* 菌索粗壮、发达,生长迅速,无寄生性,有利于天麻的栽培生产<sup>[4]</sup>。Cha 等<sup>[21]</sup>收集了一些来自天麻块茎和天麻生长

区附近的蜜环菌菌株进行栽培试验和种类鉴定,结果表明,*A. gallica* 的共生效果相对要好一些。结合文献<sup>[22]</sup>发现 DJ1 菌株对乌天麻、红天麻以及绿天麻具有促产作用,有可能在蜜环菌生长初期对于木质素降解能力较高的菌株可能较适于天麻共生。

漆酶差值均为负数,说明漆酶活性在前期较后期要高,这一结论与焦迎春等<sup>[23]</sup>的结果大体一致。不同菌株的木质纤维素与其对应酶活性的相关性存在一定差异,在半纤维素、木质素利用率与对应胞外酶活性分析中存在负相关。可能由于分解半纤维素的酶包括木糖酶、阿拉伯糖酶和甘露糖酶<sup>[24]</sup>;木质素一般认为通过微生物分泌的酚氧化酶和锰过氧化物酶类来降解,可以通过测定多酚氧化酶、愈创木酚酶、漆酶、木质素过氧化物酶和锰过氧化物酶等酶的活性来衡量其对木质素的降解能力<sup>[25]</sup>。在 2 个生长期极差最大的都是木聚糖酶活性,极差最小的都是漆酶活性,说明在酶活性测定中木聚糖酶活性变



异幅度最大,漆酶活性变异幅度最小,推测木聚糖酶在蜜环菌菌丝生长期起主导作用。该试验只研究了木质纤维素对应的一种胞外酶,若要了解其间真正的关系,可能还需进一步对分解木质纤维素的整个酶系之间的关系以及其对应酶系与分解基质的关系进行研究探讨,才能找出二者之间存在的规律。

### 参考文献

- [1] 郭顺星,王秋颖.天麻人工栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2001;34-36.
- [2] 李福后,王伟霞,许冰.蜜环菌的研究进展[J].安徽农业科学,2007,35(25):7741-7742,7749.
- [3] 臧金平,袁生,连宾.蜜环菌的研究进展[J].微量元素与健康研究,2004,21(3):47-50.
- [4] 赵俊,赵杰.中国蜜环菌的种类及其在天麻栽培中的应用[J].食用菌学报,2007,14(1):67-72.
- [5] 吴兴亮,连宾,邹方伦.贵州蜜环菌资源及其生态研究[J].贵州科学,2003,21(3):56-60.
- [6] 邹容,康冀川.蜜环菌研究进展[J].山地农业生物学报,2005,24(3):260-264.
- [7] 徐锦堂.中国天麻栽培学[M].北京:北京医科大学-中国协和医科大学联合出版社,1993:132-205.
- [8] 徐锦堂,郭顺星.蜜环菌侵染猪苓菌核的细胞研究[J].真菌学报,1993,35(1):44-50.
- [9] Zaid A, Hughes H G, Porceddu E, et al. Glossary of biotechnology for food and agriculture; a revised and augmented edition of the Glossary of biotechnology and genetic engineering[J]. FAO Research and Technology Paper, 2001, 9.
- [10] 杨新美.中国菌物学传承与开拓[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [11] 刘健鹏.灵芝漆酶及部分胞外酶研究[D].北京:中国医学科学院,2009.
- [12] GB/T 23881-2009,饲用纤维素酶活性的测定滤纸法[S].
- [13] 波钦诺克 X H.植物生物化学分析方法[M].北京:科学出版社,1981;173-177.
- [14] 徐文玉,王玉万.木质纤维素固体基质发酵物中半纤维素、纤维素和木质素的定量分析程序[J].通报微生物学,1987,2(14):81-84.
- [15] 回晶,赵文静,邹志远,等.金耳液体培养过程中几种胞外酶活性的变化规律[J].食用菌学报,2007(3):29-32.
- [16] 段学辉,颜淑芳,高鹤.几株纤维素酶产生菌的分离鉴定及其产酶能力[J].南昌大学学报(工科版),2010,32(2):134-139.
- [17] 余志坚,陈传红,赵晋宇. DNS法检测食用菌多糖含量条件优化研究[J].江苏农业科学,2012,40(1):259-260.
- [18] 吴涓,肖亚中,王怡平,等.蜜环菌胞外漆酶活力的分光光度法测定[J].厦门大学学报(自然科学版),2001,40(4):893-898.
- [19] 林俊芳,刘志明,陈晓阳,等.真菌漆酶的酶活测定方法评价[J].生物加工过程,2009,7(4):1-8.
- [20] 王敏.白腐菌降解木质素研究进展[J].衡水学院学报,2011,13(1):51-53.
- [21] Cha J Y, Igarashi T. *Armillaria* species associated with *Gastrodia elata* in Japan[J]. European Journal of Forest Pathology, 1995, 25:319-326.
- [22] 黄万兵.贵州省天麻主产区蜜环菌多样性研究及优良菌株筛选[D].重庆:西南大学,2013.
- [23] 焦迎春,余梅,唐达.黄绿蜜环菌液体培养几种胞外酶的测定[J].食用菌,2010(3):6-7.
- [24] 宋宏.榆耳新品种选育及营养生理特性研究[D].长春:吉林农业大学,2010.
- [25] 刘祖同,罗信昌.食用蕈菌生物技术即应用[M].北京:清华大学出版社,2002:153-154.

## Research on Utilization Ratio of Lignocellulose of Different *Armillaria* Strains

YANG Jing<sup>1,2</sup>, GUI Yang<sup>2,3</sup>, HUANG Wan-bing<sup>2</sup>, YANG Mei<sup>1,2</sup>, ZHU Guo-sheng<sup>2,3</sup>, LIU Chao-gui<sup>1</sup>

(1. School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716; 2. Modern Chinese Herbal Medicine Research Institute of Guizhou, Guiyang, Guizhou 550006; 3. Key Laboratory of Agricultural Biotechnology in Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550006)

**Abstract:** Taking *Armillaria mellea* as test material, *armillaria* lignocellulosic utilization rate, growth rate, extracellular enzyme activity at two growth period of 8 strains, and the correlation among the three were analyzed, and the difference of different *Armillaria* degradation using matrix and rules were studied. The results showed that, cultivation of 20 days, utilization of lignocellulose of strain KY4 was higher than other strains; cultivate 40 days, total utilization of lignocellulose of strais KY5 was the highest; the fastest growth was strains of DJ1 during two growing periods; through the difference analysis, 40 days of cellulase activity more than 20 days, the changes of activity of hemicellulase was bigger also had small change; *A. mellea*, *A. cepistipes* cellulose utilization and cellulase activity were positively correlated, *A. gallica* cellulose utilization was negatively correlated with cellulase activity.

**Keywords:** *Armillaria mellea*; lignocellulose; growth rate; extracellular enzyme; correlation