

侯立娟, 丁成龙, 林金盛, 等. 麦秸秆菌丝体饲料化生产的真菌品种筛选[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 448–451.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.129

麦秸秆菌丝体饲料化生产的真菌品种筛选

侯立娟¹, 丁成龙², 林金盛¹, 宋金伟¹, 曲绍轩¹, 李辉平¹, 蒋 宁¹, 李凤玉³, 马 林¹

(1. 江苏省农业科学院蔬菜研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏南京 210014;

2. 江苏省农业科学院畜牧研究所, 江苏南京 210014; 3. 徐州龙兴农牧科技发展有限公司, 江苏徐州 221161)

摘要:为解决秸秆饲料化转化中消化率低的难题, 开发秸秆分解与软化技术, 优先分解纤维素和半纤维素, 促进秸秆资源的饲料化利用与推广, 以真菌菌株为中间载体, 以小麦秸秆为原料, 将秸秆转化为菌丝体饲料, 并进行秸秆饲料化规模生产的效果评价研究。以显色反应和生长速度为指标进行菌株初筛, 筛选发菌生长速度快并且适合规模化生产菌丝体饲料的菌株, 并进一步对其营养成分进行动态监测, 筛选降解纤维素和半纤维素能力强的菌株, 为菌丝体饲料规模化生产奠定基础。结果表明, 红平菇具有较强的生长速度, 在 Bavendamm 平板上和 RB 亮蓝平板上生长速度最快, 分别在 6 d 和 9 d 长满平板, 红平菇对麦秸的纤维素降解率高达 54.8%, 粗蛋白降解率高达 86.58%, 以红平菇开发的菌丝体饲料具有较好的应用效果。

关键词:麦草; 红平菇; 降解; 菌丝体蛋白

中图分类号: S816.5⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0448-03

我国年产各类秸秆约 9 亿 t, 除部分机械还田外, 大部分被焚烧, 用作饲料的不足 10%, 秸秆利用率不高, 国家和地方政府开始重视秸秆的综合利用^[1]。秸秆作为农作物的主要副产品, 是一种重要的可再生资源, 秸秆综合利用中, 将秸秆转化为反刍动物可利用饲料具有较高价值。随着我国畜牧业的发展, 畜牧饲料所需粗蛋白缺口庞大, 开发高品质的秸秆饲料具有极广阔的市场前景。本试验采用室内分析和室外栽培相结合的方法, 选出 8 种适合用小麦秸秆栽培的不同菌株为试验材料, 采用 Bavendamm 显色、RB 亮蓝显色反应进行初筛降解木质纤维素能力强的菌株, 再结合室外栽培试验, 缩小并锁定优良菌株, 通过营养成分分析和降解指标确定在小麦秸秆上具有高效降解木质纤维素的专一品种, 为开发秸秆饲料奠定理论基础, 同时为麦草资源化利用提供有效途径。

1 材料与方法

1.1 菌株

适合小麦秸秆生料栽培的菌株共 8 个, 包括红平菇、杂 3、苏 5、鸡腿 1 号、鸡腿 2 号、棕蘑、双孢蘑菇 W2000 和 W192。均由江苏省农业科学院蔬菜研究所食用菌项目组提供。

1.2 栽培配方

栽培基质组成为: 80% 小麦秸秆、10% 饼肥和 10% 麸皮。

1.3 试验方法

1.3.1 菌株培养方法

1.3.1.1 菌种活化 供试菌株在 PDA 培养基的斜面上接种

收稿日期: 2015-12-03

基金项目: 2015 年江苏省“博士-企业集聚计划”项目; 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(13)5012、CX(12)1002]; 江苏省自然科学基金青年基金(编号: BK20140742); 现代农业产业技术体系建设专项资金(编号: CARS24)。

作者简介: 侯立娟(1981—), 女, 吉林松原人, 博士, 副研究员, 从事食用菌栽培和菌糠综合利用研究。E-mail: mybailinggu@126.com。

进行活化培养。被活化了的菌种再接种于 PDA 培养基平板上, 25℃ 培养, 7 d 后备用。

1.3.1.2 菌丝的显色试验 (1) PDA-Bavendamm 显色试验(漆酶鉴定培养基): 在纯培养中, 加入 0.4 mmol/L 的鞣酸, pH 值 5.5, 用打孔器制成菌塞, 定量接种于平板上, 25℃ 条件下培养。记录菌落周围有无褐色轮环产生及显色程度, 有褐色轮环者记为“+”, 反之记为“-”, 并记录显色时间和显色程度^[2]。(2) PDA-RB 亮蓝显色法(过氧化物酶鉴定培养基): 将 625 mg/L RB 亮蓝单独灭菌后, 在无菌条件下, 与 PDA 培养基混匀, 制成 PDA-RB 亮蓝平板, 接种后 25℃ 培养, 观察记录平板上有无黄色轮环产生, 有黄色轮环记为“+”, 反之记为“-”, 并记录显色时间和显色程度^[3]。

1.3.1.3 菌丝生长速度测量方法 用打孔器在 PDA 培养基上打孔, 然后将菌饼接种在 70 mm 的 PDA 培养基上, 接种 1~2 d 菌丝已经定植并正常生长时, 以菌饼为中心, 沿菌丝生长的前沿划“十”字线, 2 条线之间的距离与时间之比即为菌丝生长速度(mm/d)。

1.4 培养料建堆发酵

按照“1.2”节介绍的配方进行备料, 小麦秸秆必须新鲜、无霉、无虫。将小麦秸秆铡成长 5~8 cm, 饼肥进行粉碎后备用。将小麦秸秆用 1% 石灰水预湿 4 d, 尽量让培养料浸透水分。按照 1 层小麦秸秆、1 层麸皮、1 层饼肥的顺序在日光温室进行建堆, 建堆高度约 1.5 m, 堆宽约 1.6 m, 长度依场地和培养料总量而定。培养料的水分控制在 65% 左右, 可边建堆边淋水。建堆完毕和每次翻堆后都要打开通气, 可以在料堆的两侧或上部进行打孔, 以利通气好氧发酵。

建堆后观察料温, 达到 65℃ 进行第 1 次翻堆, 将培养料上下、内外颠倒。料温再次升到 60℃ 时第 2 次和第 3 次翻堆, 建堆的时间随着季节、气温的高低和培养料的多少等灵活掌握, 如果气温过低, 可在料堆上覆盖 1 层薄膜。一般翻堆 5~7 次, 堆料时间约 30 d。发酵好的料呈深棕色, 含水量在

65%左右,pH 值为 7 或略高。在料中外层出现灰白色的高温放线菌,培养料不黏手且有弹性,小麦秸秆有一定的拉力,说明发酵正常。

1.5 装袋、接种

栽培用的出菇袋根据生产季节选用宽 17、20 cm 或 22 cm 的聚乙烯料袋,袋厚度为 2.5~5 μm,袋长 40~50 cm,在夏季或早秋进行打包生产时,由于温度较高,一般选用较小口径的袋子,防止内部温度不易散发造成菌丝受高温而“烧”死。装袋的同时进行接种,菌种扒成玉米粒到豌豆粒大小,装袋时先在筒袋中加入 1 层菌种,装入约 1/3 袋高的培养料,播入第 2 层菌种,然后再装入约 1/3 袋高的培养料,播入第 3 层菌种,然后将培养料装满袋,播入第 4 层菌种,播种量约为 15%,袋口用扎绳扎上,在菌袋外侧接种层的部位用缝衣针转圈刺 20 个左右的孔,以利排热和散气。

1.6 菌丝培养

接过种的菌袋,有条件的放置于整洁、通风、干燥的培养室中培养,发菌环境 20~25 ℃。温度较高时及时通风降温,经常检查菌袋,防止袋内温度超过 33 ℃烧死菌种,温度超过 30 ℃时要及时疏散袋子使之尽快散热降温。发现有污染菌袋应及时将其清除,一般 30 d 左右菌丝发满,不同菌株的生长特性不同,发菌速度也不同。

1.7 营养成分的测定

培养料按照固定配方配制后,在堆料过程中取样,本次试验在堆料后 0 d,在培养料堆料后 13 d 以及在不同菌株发满菌丝后取样,分别测定培养料不同阶段的干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、碳、氮、磷及钙含量。样品营养成分分析均由江苏省农业科学研究院食品质量与安全检测研究所完成。

2 结果与分析

2.1 PDA – Bavendamm 和 RB 亮蓝平板显色反应

Bavendamm 平板显色反应是判断微生物是否能分泌漆酶并降解木质素的一种方法,其原理是:菌株如果能产该酶,则会与培养基中的酚类化合物起反应,菌落的周围会形成棕褐色轮环,呈现阳性反应^[2]。

RB 亮蓝平板变色反应用来判断微生物是否能分泌过氧化物酶并降解木质素的原理是:菌株如果能产该酶,则会与 RB 亮蓝反应,使得 RB 亮蓝转变成橙黄色,呈现阳性反应^[3]。

本试验中对 8 个供势菌株进一步通过 2 种显色反应比较结果见表 1。通过观察可以看出,8 个菌株在 Bavendamm 显色反应和 RB 显色反应中,均能呈现显色反应,说明各菌株都具有产生漆酶和过氧化物酶的能力,但是不同菌株之间在显色时间及显色程度上差异显著。

在 PDA – Bavendamm 平板(1 号培养基)上,同样是侧耳类,红平菇的菌株显色反应最快,5 d 时已经呈现明显的显色圈,随后颜色逐渐加深,其次是苏 5 和杂 3。双孢蘑菇类在 5 d 开始显色,随后颜色随之加深;鸡腿菇类在 7 d 时开始显色。在 RB 显色和 W2000 平板上(2 号培养基),棕蘑直到 10 d 才开始显色,鸡腿菇 3 号和 W2000 在 5 d 开始显色,其他菌株在 3 d 均已开始显色,尤其是红平菇、苏 5 和鸡腿菇 2 号的显色圈的颜色加深相对比较快。因此,可以说明平菇类的 3 个菌株的漆酶和过氧化物酶活性较强,可以初步判定,这

表 1 各菌株在 PDA – Bavendamm 和 PDA – RB 平板上的显色结果

菌株	Bavendamm 显色反应				RB 显色反应			
	3 d	5 d	7 d	10 d	3 d	5 d	7 d	10 d
杂 3	+	++	++	++	+	++	++	++
苏 5	+	++	++	+++	+	++	+++	++++
红平菇	+	+++	++++	++++	+	++	+++	++++
棕蘑	–	±	+	++	–	–	–	±
W2000	–	±	+	++	–	+	++	+++
W192	–	±	+	++	±	+	+	++
鸡腿菇 2 号	–	–	±	+	+	++	+++	++++
鸡腿菇 3 号	–	–	±	+	–	±	++	++

注:“–”不显色,“±”开始显色,“+、++、+++、++++”显色颜色逐渐加深。

3 个菌株是可以用作降解小麦秸秆的优势菌株。

2.2 不同菌株生长量的测定

菌株生长量的高低用其在 PDA 固体培养基上的菌丝生长速度来表示,而菌丝生长速度的测定常采用菌落直径测定法^[4],通过测定菌落在基础培养基上的直径确定不同菌株的生长速度,8 个菌株在 25 ℃条件下培养,跟据不同菌株在 2 种显色平板上的生长速度进行定期测定(3 d 或 5 d),以其中多数菌株长满平板的时间为最终测量周期。

通过在 2 种培养基上的菌落直径确定 8 个菌株的生长速度,所有菌株均在 10 月 22 日接种在直径为 7 cm 的平皿中,分别接种在 2 种培养基上,各处理 5 次重复。各菌株在 25 ℃培养箱中培养,记录 8 个菌株菌丝长满平皿的时间。结果发现 8 个菌株在 2 种培养基上的生长速度不同,即使同一培养基上,8 个菌株的生长速度也不同。

由表 2 可以看出,在 PDA – Bavendamm 培养基上,不同菌株的生长速度不同,以平菇类的菌丝生长速度为最快,其次是鸡腿菇类,双孢蘑菇类的菌丝生长速度最慢。从菌丝的生长速度上比较,红平菇菌株生长速度最快,在接种后 6 d 就已长满这个平板,其生长速度平均为 11.67 mm/d,其次是苏 5,接种后 8 d 长满平板,其平均生长速度为 8.5 mm/d,然后是菌株杂 3 在 10 d 长满平板,其平均生长速度为 7 mm/d;鸡腿菇 2 号需要 13 d 长满平板,鸡腿菇 3 号需要 24 d 长满平板。直到检测到 24 d 时,3 个双孢蘑菇的菌丝都未长满平板,以棕蘑菌株生长速度相对较快。生长速度较快的菌株能在短时间内获得大量菌丝体生物量,而大量的菌丝体生物量是产酶的物质基础。因此,选择一定时间内生物量高的菌株是筛选高效菌株的重要措施之一。本试验证明红平菇菌株生长速度最快,说明菌丝体生物量最大,产酶活性越高的红平菇相应降解木质素的能力越强,所以红平菇菌株降解能力最强;鸡腿菇类的菌株比双孢蘑菇类的菌株降解木质纤维素能力强。

不同菌株在 PDA – RB 培养基上的生长速度见表 3。不同的菌株在 2 号培养基上的生长速度表现不同,接种 9 d 测量菌丝的生长速度时,平菇类的 3 个菌株均已长满平板,相同时间点测量菌丝的生长速度,还是以红平菇的生长速度最快。其次是鸡腿菇 2 号,12 d 长满平板,鸡腿菇 3 号,16 d 长满平板,双孢蘑菇类的 3 个菌株生长速度较慢。

2.3 不同处理物料的营养成分比较

将筛选出来的红平菇、棕蘑及鸡腿菇 2 号 3 个菌株接种

表 2 不同菌株在 PDA－Bavendamm 平板生长速度比较

菌株	菌落直径(mm)							
	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d	13 d	20 d	24 d
杂 3	14.21 ± 1.26A	28.85 ± 3.87A	56.89 ± 3.42B	63.89 ± 1.34B	70.00 ± 0.00A			
苏 5	14.08 ± 1.35AB	35.06 ± 2.75A	62.88 ± 3.74AB	70.00 ± 0.00A				
红平菇	12.81 ± 1.89ABC	31.81 ± 2.75A	70.00 ± 0.00A					
棕蘑	10.56 ± 1.38ABC	14.36 ± 0.27B	16.24 ± 0.42DE	18.97 ± 1.12E	21.38 ± 0.91E	24.94 ± 2.54D	28.84 ± 4.37D	43.88 ± 0.00C
W192	10.23 ± 0.41ABC	11.51 ± 0.95B	12.73 ± 0.98E	14.34 ± 2.27E	23.58 ± 2.99E	25.97 ± 2.19D	38.35 ± 0.68C	56.25 ± 3.34B
W2000	9.36 ± 0.43C	13.88 ± 0.59B	22.18 ± 3.03D	24.86 ± 1.75D	31.45 ± 2.85D	34.58 ± 4.08C	45.19 ± 2.15B	52.83 ± 3.54B
鸡腿菇 2 号	12.86 ± 1.58AC	18.47 ± 2.38B	40.97 ± 1.91C	46.23 ± 3.41C	57.64 ± 2.95B	70.00 ± 0.00A		
鸡腿菇 3 号	9.86 ± 0.4BC	12.38 ± 1.42B	16.72 ± 11.52DE	16.72 ± 2.31D	37.40 ± 1.34C	43.28 ± 1.70B	52.32 ± 0.57A	70.00 ± 0.00A

表 3 不同菌株在 PDA－RB 平板上生长速度比较

菌株	菌落直径(mm)					
	7 d	9 d	12 d	14 d	16 d	20 d
杂 3	44.97 ± 6.13B	70.00 ± 0.00A				
苏 5	50.18 ± 1.99AB	70.00 ± 0.00A				
红平菇	55.58 ± 2.97A	70.00 ± 0.00A				
棕蘑	16.82 ± 1.97DE	23.65 ± 1.01D	33.02 ± 1.80C	36.43 ± 1.05B	41.29 ± 1.01B	46.31 ± 1.89A
W192	15.38 ± 1.07C	21.32 ± 0.70D	24.08 ± 3.02C	27.91 ± 1.36B	31.08 ± 1.82C	33.82 ± 1.18A
W2000	14.98 ± 1.33E	22.89 ± 1.10D	32.26 ± 2.10D	36.45 ± 1.47C	40.28 ± 1.90B	43.87 ± 1.76B
鸡腿菇 2 号	26.25 ± 0.93C	64.62 ± 2.23B	70.00 ± 0.00A			
鸡腿菇 3 号	23.03 ± 1.76CD	53.22 ± 3.20C	55.234 ± 0.99B	58.39 ± 1.71A	70.00 ± 0.00A	

在相同的小麦秸秆基质上,分别于建堆的 0 d、13 d 及不同菌株接种后直至菌丝发满菌袋的时间测定干物质、粗蛋白、粗脂肪、碳含量、氮含量及微量元素磷和钙的含量。

由表 4 可见,干物质随着发菌时间的延长,不同菌株均呈增加的趋势,鸡腿菇 2 号、棕蘑、红平菇的发满菌丝期比初始建堆期的干物质分别增加 1.36%、0.45%、2.48%;粗蛋白的含量呈增加趋势,与初始建堆期相比,鸡腿菇 2 号、棕蘑、红平菇蛋白的含量分别增加 32.24%、88.85%、86.58%,各菌株粗蛋白的含量与初始值相比,均达到了 1% 显著水平,以红平菇和棕蘑的含量相对较高。

粗脂肪的变化,只有红平菇呈增加趋势,增加 16.36%,其他 2 个品种呈下降趋势,鸡腿菇 2 号下降 52.73%;棕蘑下降 13.33%。各菌株粗纤维随着发菌期的延长呈降解加快的趋势,鸡腿菇 2 号、棕蘑、红平菇发满菌丝后对粗纤维的降解率分别达到 58.36%、53.38%、54.80%,3 个菌株的粗脂肪和

粗纤维含量的变化均达到了 1% 显著水平,其中均以红平菇 > 棕蘑 > 鸡腿菇为变化趋势。

微量元素 P 和 Ca 含量随着发菌期的延长呈增加趋势,不同的菌株增加的幅度不同,棕蘑 P 含量增加最多并达到了 1% 显著水平,增加达 181.42%;其次是红平菇,增加达 144.27%,鸡腿菇 2 号 P 的含量增加最少,为 82.21%;Ca 含量以鸡腿菇 2 号增加最多,与其他 2 个处理比较,达到了 1% 显著水平,增加达 64.67%;其次是棕蘑,增加 46.11%,相对较少的是红平菇,增加 27.54%。

随着菌丝发菌时间的延长,C 含量呈现大幅度被降解利用的趋势,N 含量呈现增加的趋势,不同菌株增加或减少的幅度不同。红平菇对 C 降解的幅度最大,达 49.34%;棕蘑和鸡腿菇 2 号降解的幅度相近,分别为 34.44% 和 34.37%;N 含量的增加以棕蘑、红平菇、鸡腿菇 2 号依次递减,分别增加 90.00%、87.86%、35.00%。

表 4 不同菌株在不同发菌期营养成分的变化

菌株	干物质	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	P	Ca	C	N	C/N
M-0	95.14 ± 0.18B	8.79 ± 0.20D	1.65 ± 0.03B	28.1 ± 0.68B	0.253 ± 0.00E	1.67 ± 0.01D	43.82 ± 1.24A	1.40 ± 0.02D	31.30
M-13	95.78 ± 1.55AB	9.44 ± 0.12C	1.03 ± 0.06D	21.0 ± 0.40D	0.400 ± 0.02D	1.70 ± 0.04D	43.79 ± 0.88A	1.51 ± 0.04C	29.00
M-鸡腿菇	96.43 ± 1.20AB	11.8 ± 0.40B	0.78 ± 0.01E	11.7 ± 0.10E	0.461 ± 0.01C	2.75 ± 0.02A	28.76 ± 0.50B	1.89 ± 0.01B	15.20
M-棕蘑	95.83 ± 0.37AB	16.6 ± 0.34A	1.43 ± 0.01C	13.1 ± 0.12C	0.712 ± 0.02A	2.44 ± 0.09B	28.73 ± 0.99B	2.66 ± 0.02A	10.80
M-红平菇	97.15 ± 0.53A	16.4 ± 0.27A	1.92 ± 0.01A	12.7 ± 0.09A	0.618 ± 0.01B	2.13 ± 0.02C	22.20 ± 0.65C	2.63 ± 0.02A	8.44

注:M-0:培养料建堆 0 d;M-13:培养料建堆 13 d;M-鸡腿菇:鸡腿菇 2 号菌株接种小麦秸秆培养料上直至发满菌丝;M-棕蘑:棕蘑菌株接种小麦秸秆培养料上直至发满菌丝;M-红平菇:红平菇菌株接种小麦秸秆培养料上直至发满菌丝。

3 讨论

栽培食用菌的菌糠常以棉籽壳、锯木屑、稻草、麦秸、玉米芯、甘蔗渣等多种农作物秸秆及工业废物为主要原料。菌糠粗蛋白含量明显提高,粗纤维含量显著下降,不仅可以变废为宝,促进资源的再次利用,而且可以降低饲料成本,提高经济

效益^[5]。目前有关食用菌栽培后的菌渣在养殖业中的应用已有大量报道,如作为奶牛、肉兔、鹅、肉鸡、猪等饲料,具有降低饲料成本、提高经济效益的作用^[6],本研究仅从菌丝体饲料化的角度,以提高麦秸秆的营养和适口性为主要目的,通过筛选适合生产菌丝体饲料的菌株,以真菌菌株为中间载体,将秸秆转化为菌丝体饲料,极大地提高了秸秆粗蛋白的含量和

施和平,吴瑞凤,张静茹,等. 包头尾矿库区不同分子量和种类腐殖酸的提取及表征[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):451-454.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.130

包头尾矿库区不同分子量和种类腐殖酸的提取及表征

施和平¹, 吴瑞凤², 张静茹², 石磊³, 李金英³

(1. 内蒙古农业大学理学院, 内蒙古呼和浩特, 010018; 2. 内蒙古工业大学化工学院, 内蒙古呼和浩特, 010051;

3. 华润新能源控股有限公司, 广东深圳, 518000)

摘要:采用焦磷酸钠萃取法提取腐殖酸,并分离得到黄腐酸、棕腐酸和黑腐酸,通过膜分离技术分离腐殖酸得到 6 种不同分子量的腐殖酸。对样品用元素分析、红外光谱、紫外分析及荧光光谱法进行了表征。结果表明,各种腐殖酸的化学组成有相似之处,但在结构上有明显不同:(1)元素分析发现不同腐殖酸之间 H/C、C/N 原子比具有明显的差异,不同分子量的腐殖酸,分子量越大芳香度越高;而 3 种不同类型的腐殖酸中,芳香度为黑腐酸 > 棕腐酸 > 黄腐酸。不同分子量腐殖酸中分子量越小的腐殖化程度越高,而不同类型的腐殖酸中黄腐酸腐殖化程度最高。(2)荧光光谱图表明不同腐殖酸中分子量越小荧光强度越强,黑腐酸、棕腐酸明显强于黄腐酸;说明不同腐殖酸的结构存在差异。(3)紫外分析显示,各种腐殖酸均含有芳香官能团,用 E4/E6 解释腐殖酸的芳香缩合程度发现与元素分析所得结论一致。(4)红外光谱也得出不同腐殖酸结构和特性存在相似性和差异性,均含有羧基,除黄腐酸与分子量小于 10 000 的腐殖酸外均含有芳环或酚类。

关键词:腐殖酸;提取;表征;包头尾矿库区

中图分类号: X132;O657 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0451-04

腐殖酸(humic acids, HA)是一种分子结构相似、组成复杂的天然有机化合物,广泛存在于土壤、水体及沉积物中^[1-4]。在土壤中腐殖质约占有机质总量的 85%~90%,是

收稿日期:2015-08-18

基金项目:国家自然科学基金(编号:21167010)。

作者简介:施和平(1970—),男,山西朔州人,博士,副教授,研究方向为环境化学。E-mail:hpshi2002@163.com。

秸秆纤维的转化率,是畜禽生产中重要的蛋白来源。

不同的食用菌品种,选择栽培原料成分不同,其菌糠的营养价值也会有所不同。不同的食用菌品种在相同的栽培基质上,其菌糠的营养成分也会不同^[7],因此本研究原料的成分只有小麦秸秆、麸皮及饼肥,既可以满足选定食用菌品种的生长,其菌糠也能满足羊等反刍动物的营养需求。通过不同品种不同生长阶段对其营养成分的动态监测,红平菇不仅发菌速度较快,而且粗纤维被分解多,粗蛋白和粗脂肪含量高,而本试验的菌丝体饲料是到长满菌丝的阶段为止,并未让其出菇,营养价值保留在培养基质中,并未进一步转化,所以从理论上与出菇后的菌糠成分相比,菌丝体阶段的营养成分会相对较高,更适合于用作反刍动物的饲料。

食用菌培养基经过菌丝体的生物固氮和酶解作用等一系列生物转化过程后,其中的纤维素、半纤维素和木质素等物质均被不同程度地降解,而粗蛋白和粗脂肪的含量则有所提高,且富含氨基酸、多糖及钙、磷、铁、锌等多种矿物元素,同时还产生有机酸和生物活性物质等,这就增加了菌糠中营养成分的含量,并增强了菌糠的菌香味,从而有利于提高菌糠的适口性和消化率^[5]。本试验的结果与前人报道的结果相似。下一步的试验,是将菌丝体饲料开展饲喂试验,证实饲喂效

土壤有机质的主要组成部分。不同来源的腐殖酸,其化学组成、结构和性质有差异性^[5],研究表明腐殖酸的元素组成有 C、H、O、N 及少量的 P、S,在泥炭和煤中,氮含量较低,碳含量较高;而土壤腐殖酸的碳和氮含量都较高,而且不同地区和种类的腐殖酸含有的羟基、羧基、酮基、羰基和甲氧基等活性官能团也不相同,这些性质和结构的差异将明显地影响腐殖酸在环境地球化学和区域碳循环中的作用^[6-7]。腐殖酸可以吸附络合土壤和水体中的重金属、放射性核素等污染物,因此研

果,并进一步采用发酵隧道技术规模化生产菌丝体饲料,并根据菌株和秸秆类型,制定标准化菌丝体饲料的关键技术规程,按照订单式生产菌丝体饲料,充分提高秸秆饲料化价值,对我国畜牧业的可持续发展具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 窦延燕,于克媛,衣慧静. 农作物秸秆饲料的研究进展[J]. 中国饲料添加剂,2013(10):35-40.
- [2] Waksman S A, Nissen W. On the nutrition of the cultivated mushroom, *Agaricus campestris*, and the chemical changes brought about by their organisms in the manure compost[J]. American Journal of Botany, 1932, 19(6):514-537.
- [3] 刘尚旭,董佳里,张义正. 糙皮侧耳菌木质素降解酶的比较研究[J]. 四川大学学报:自然科学版,2000,37(4):594-598.
- [4] 邢来君. 普通真菌学[M]. 北京:高等教育出版社,1999:270-280.
- [5] 罗佳捷,张彬,王浩,等. 菌糠饲料的研究进展[J]. 饲料研究,2013(2):20-22.
- [6] 侯立娟,姚方杰,高芮,等. 食用菌菌糠再利用研究概述[J]. 中国食用菌,2008,27(3):6-8.
- [7] 张昂. 菌糠的营养价值及其在畜禽生产中的应用[J]. 畜牧与饲料科学,2014,35(7/8):45-47.