

羊肚菌固体发酵转化厨余垃圾制取饲料的研究

陈 园¹, 张增强^{2*}, 沈志红¹, 王豫琪¹, 郑 峰³

(1.西北农林科技大学生命科学学院, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 3.西北农林科技大学理学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 厨余垃圾的无害化处理与资源化利用是我国生活垃圾处理的重要方面。为探索羊肚菌转化厨余垃圾制取饲料的最佳工艺, 进而实现厨余垃圾的饲料化利用, 利用食用蕈菌羊肚菌对厨余垃圾进行了固体发酵实验。结果表明, 当厨余垃圾和辅料豆渣按 1:1 质量比混合, 发酵时间为 20 d, 发酵温度为 25 ℃, pH 在自然状态下, 含水率为 65%, 接种量为 15% 时, 饲料中粗蛋白质含量提高幅度最大, 最终含量都在 20% 以上, 且粗脂肪含量均小于 17%, 粗纤维含量小于 16%, 符合国家蛋白饲料标准的要求。

关键词: 厨余垃圾; 豆渣; 羊肚菌; 饲料

中图分类号: X705 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2011)04-0761-07

Research of Solid Fermentation of *Morehella esculenta* on Transforming Food Wastes to Feedstuff

CHEN Yuan¹, ZHANG Zeng-qiang^{2*}, SHEN Zhi-hong¹, WANG Yu-qi¹, ZHENG Feng³

(1.College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2.College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 3.College of Sciences, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The harmless treatment and resource utilization of kitchen waste is an important aspect in disposal of living waste in our country. In this research, a new idea of using one kind of fungi which is *Morehella esculenta* to degrade and convert food wastes to feedstuff was advanced. Five factors of fermentation conditions of producing feedstuff were studied. When the food waste and the bean residue were 1:1 quality compounded, the results showed that the optimal fermentation conditions were incubation temperature of 25 ℃, natural pH, 65% moisture content, 15% incubation quantity and 20 days' fermentation time, respectively. Under these conditions, the crude protein content of the substrate increased, all of which exceeded 20%. And the crude fat and crude fiber content of the feedstuff also have changed to some extent. The crude fat content of the feedstuff was lower to 17%, with the content of crude fiber was lower to 16%, and they both were up to standard protein feedstuff. In conclusion, this research showed that using the *Morehella esculenta* to ferment the mixture of food wastes and bean dregs, it was not only a good use of the waste materials, but also was a commendable method to produce animal feedstuff.

Keywords: food wastes; bean dregs; *Morehella esculenta*; feedstuff

餐厨垃圾主要是指居民日常生活及除此以外的食品加工、饮食服务、单位供餐等活动中产生的垃圾。餐厨垃圾包括废弃食用油脂和厨余垃圾。其中废弃食用油脂是指不可再食用的动植物油脂和各类油水混合物, 而厨余垃圾是指食物残余和食品加工废料, 主要为餐厨垃圾中的固体残留物^[1]。厨余垃圾含水率为 80%~90%, 富含淀粉、蛋白质、脂类、无机盐等。丰富

的营养成分以及高含水率, 极易导致其腐烂变质, 散发恶臭, 滋生细菌和病毒。过去, 人们对厨余垃圾的再利用是不经过任何处理直接饲喂牲畜, 但近一个世纪以来, 一些传染病的流行使得生产者和立法者开始拟定法规以避免这些隐患^[2]。在我国, 2006 年 7 月 1 日正式施行的《中华人民共和国畜牧法》第四十三条规定, 饲养户不得使用未经高温处理的餐馆泔水饲喂家畜^[3]。

豆渣是利用大豆在生产大豆制品时所产生的剩余物质, 其营养物质十分丰富, 富含蛋白质以及各种矿物质。以往豆渣通常也被用作饲料, 但由于其纤维素含量大以致动物消化能低, 含水率大容易发

收稿日期 2010-10-31

基金项目 陕西省攻关项目(2005K02-G05-04)

作者简介 陈 园(1985—), 女, 陕西延安人, 硕士研究生, 主要从事固体废物处理研究。E-mail: zhenyuan_0908@yahoo.cn

* 通讯作者 张增强 E-mail: zhangzq58@126.com

酸变质,真正的利用率非常之低。而我国每年约可产生 2 000 万 t 湿豆渣,产量巨大^[4]。如能找到一种方法对其进行品质改善做成固体饲料,则可以充分发挥其营养价值。鉴于此,本研究将豆渣作为辅料与厨余垃圾混合作为固体发酵培养基,接种食用菌对其品质进行改善后制成饲料,既解决了厨余垃圾和豆渣不合理使用造成的养殖健康和环境问题,又是对废弃物资源化利用的有效方法,实为两全其美之举。文献曾报道一些用微生物来发酵废弃物制饲料的研究^[5-11],受此启发,笔者认为可以用食用蕈菌羊肚菌来发酵厨余垃圾和豆渣的固体混合培养基制取饲料。由于羊肚菌具有丰富的纤维素酶和木质素酶,对原料的利用范围较广,可以考虑将厨余物和豆渣进行利用。此外,尽管羊肚菌本身的子实体培养非常困难,但深层发酵菌丝培养技术应用较广,并且研究得知羊肚菌菌丝体含有子实体的各种营养成分,包括丰富的氨基酸及维生素^[12],能够对厨余垃圾品质起到很好的改善作用。更重要的是,羊肚菌可为人所食用,经过了充分的安全考验,对牲畜来说也应当是安全的。因此,本实验通过用羊肚菌来发酵厨余垃圾和豆渣的混合物,探讨羊肚菌转化二者制取饲料的条件。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌种

羊肚菌由西北农林科技大学微生物研究中心提供。

1.1.2 原料

豆渣:大豆加水磨浆,分离豆乳后剩余的固形物烘干、粉碎、冷藏备用。厨余垃圾:直接取自西北农林科技大学学生食堂,包括米饭、面条、馒头、蔬菜、鸡蛋等,打浆、烘干、粉碎、冷藏备用。二者成分及理化性质见表 1(除水分外其余均为干物质百分含量)。

1.1.3 培养基

1.1.3.1 斜面培养基

PDA 固体培养基:土豆 200 g,磷酸二氢钾 1 g,葡萄糖 10 g,蔗糖 10 g,硫酸镁 0.5 g,蒸馏水 1 000 mL,

表 1 原料的基本成分(%)

Table 1 The components and physicochemical property of bean dregs and food wastes(%)

原料	水分	粗脂肪	粗蛋白	粗纤维	盐	粗灰分	钙
豆渣	87.51	4.56	16.96	13.55	—	4.87	0.65
厨余垃圾	68.39	8.92	14.20	2.21	4.29	2.57	0.31

琼脂 20 g。

1.1.3.2 种子培养基

PDA 液体培养基:土豆 200 g,磷酸二氢钾 1 g,葡萄糖 10 g,蔗糖 10 g,硫酸镁 0.5 g,蒸馏水 1 000 mL。

1.1.3.3 混合固体培养基

烘干保存的厨余与干豆渣按质量为 1:1 的比例混合,于 150 mL 的三角瓶中装入 20 g 的培养基,根据具体实验设计添加水分,调 pH,接种不等量菌液以及设置培养天数,接种前于高温高压灭菌锅中灭菌 50 min。

1.2 仪器和试剂

1.2.1 仪器

岛津 AUX220 型电子天平,超净工作台,东联电子 HZQ-R 型振荡器,LS-B50L 型立式压力蒸汽灭菌器,KDY-9820 凯氏定氮仪,索氏脂肪提取仪,上海精密科学仪器有限公司 PHS-3C 精密 pH 计,山东九阳小家电有限公司九阳料理机,光明电热板,上海一恒科技有限公司 DHG-9053A 型电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司 SXL-1304 型程控箱式电炉。

1.2.2 试剂

KH₂PO₄、葡萄糖、蔗糖、硫酸镁、蒸馏水、石油醚、95%乙醇、NaOH、浓 H₂SO₄、CuSO₄、K₂SO₄、硼酸、溴甲酚绿、甲基红、正辛醇、盐酸羟胺、三乙醇胺、乙二胺、氢氧化钾、淀粉、钙黄绿素-甲基百里香草酚蓝指示剂、EDTA、丙酮、正己烷、硝酸、活性炭、硫酸铁铵、亚铁氰化钾、乙酸锌、硫氰酸钾、硝酸银等。

1.3 实验方法

1.3.1 厨余和豆渣复合比例的确定

由于厨余垃圾成分随地域、季节和人们习惯的不同变化较大,直接接种单一微生物菌种可能会使转化效果不稳定。而豆渣成分比较稳定,其粗蛋白和粗纤维含量高,一方面可以使发酵底物成分趋于稳定,另一方面其丰富的粗纤维素可能会使真菌更容易生长,还可能提高饲料中粗蛋白质含量,因此选用豆渣作为辅料。本着对厨余垃圾最大减量化处理的目的,首先选择厨余和豆渣质量比分别为 1:1、2:1、3:1 接种羊肚菌进行实验,条件为:种子液接种量 15%,含水率 65%,pH 自然状态,温度 25 ℃,培养时间取 15 d。到达预定时间后取出长有菌丝体的培养基于 85 ℃烘干、粉碎,对干制成品进行感官评定,并测定粗蛋白、粗脂肪、粗纤维 3 种成分的变化,据以确定最佳复合比例。其后的实验都依照该最佳复合比例进行。

1.3.2 培养时间的确定

以厨余和豆渣 1:1 混合料为培养基,控制种子液接种量为 15%,含水率为 60%,pH 为自然状态,温度为 25 ℃的培养条件,时间分别取 5、10、15、20、25 d,让羊肚菌生长到预定时间后取出长有菌丝体的培养基于 85 ℃烘干、粉碎,对干制成品进行感官评定,并测定粗蛋白、粗脂肪、粗纤维 3 种成分的变化,确定最佳培养时间。

1.3.3 培养温度的确定

以厨余和豆渣 1:1 混合料为培养基,控制种子液接种量为 15%,含水率为 60%,pH 为自然状态,发酵时间取 15 d,让羊肚菌菌丝体生长温度分别为 19、22、25、28 ℃,到设定的时间后取出长有菌丝体的培养基于 85 ℃烘干、粉碎,对干制成品进行感官评定,并测定粗蛋白、粗脂肪、粗纤维素 3 种成分的变化,确定最佳培养温度。

1.3.4 培养 pH 值的确定

控制种子液接种量为 15%,含水率为 60%,温度为 25 ℃的培养条件,pH 分别为 5、6、自然状态(约为 7)、8、9、10,让羊肚菌生长 15 d 后取出长有菌丝体的培养基烘干、粉碎,对干制成品进行感官评定,测定粗蛋白、粗脂肪、粗纤维素 3 种成分的变化,确定最佳的 pH 值条件。

1.3.5 培养基含水率的确定

控制种子液接种量为 15%,pH 为自然状态(约为 7),温度为 25 ℃的培养条件,含水率分别为 45%、50%、60%、65%、70%,让羊肚菌生长 15 d 后取出长有菌丝体的培养基烘干、粉碎,对干制成品进行感官评定,测定粗蛋白、粗脂肪、粗纤维素 3 种成分的变化,确定最佳培养基含水率。

1.3.6 培养基接种量的确定

在接种量试验中,控制 pH 为自然状态(约为 7),温度 25 ℃,含水率为 60%,种子液接种量分别为 5%、10%、15%、20%、25%,让羊肚菌生长 15 d 后取出长有菌丝体的培养基烘干、粉碎,对干制成品进行感官评定,测定粗蛋白、粗脂肪、粗纤维素 3 种成分的变化,确定最佳接种量。

1.4 分析方法

粗蛋白按国家标准 GB/T 6432—1994 进行测定;粗脂肪按国家标准 GB/T 6433—1994 进行测定;粗纤维按国家标准 GB/T 6434—1994 进行测定;粗灰分按国家标准 GB/T 6438—2007 进行测定;钙含量按国家标准 GB/T 6436—2002,采用乙二胺四乙酸二钠(ED-

TA)络合滴定快速测钙法,试样采用干法处理。

盐含量的测定,样品进行灰化处理后,用摩尔法测定氯。

在进行实验的过程中,测定培养基的主要成分,根据各成分的变化量和变化趋势确定最佳发酵条件。

2 结果与分析

2.1 厨余垃圾和豆渣复合比例对羊肚菌转化饲料的影响

不同质量配比的厨余垃圾和豆渣的培养基在羊肚菌转化其成为饲料后成分含量不同。从图 1 可以看出,粗蛋白质的含量随着厨余垃圾比例增大而下降,即由二者为 1:1 配比的 20.89%下降到 3:1 时的 19.32%。粗纤维含量有着类似的变化,即含量从二者配比为 1:1 时的 9.82%下降到 3:1 时的 8.75%。粗脂肪含量则从 12.39%增加到 13.85%。观察饲料品质可以看到,随着厨余垃圾比例增大,培养基由于高温灭菌导致的发苦味和颜色发黑都会增加,不利于饲料品质。综合考虑,选取决定饲料品质的主要成分——粗蛋白质做参考指标,将培养基中初始厨余垃圾和豆渣的质量配比定为 1:1。以下实验的原料配比都是按照这个比例进行的。

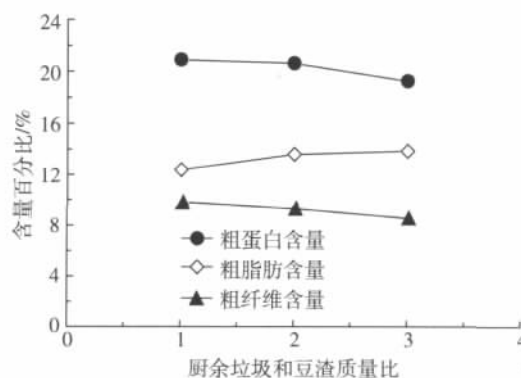


图 1 不同配比的底物在微生物转化后主要成分含量

Figure 1 The main components proportions of different substrates after conformation

2.2 发酵时间对羊肚菌转化饲料的影响

发酵时间对羊肚菌转化饲料品质有重要的影响,不同的培养时间能使厨余垃圾复合豆渣的培养基成分发生很大变化。从图 2 可以看出,不同培养天数后,培养基中粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维素的含量一直呈增长状态。当发酵时间达到 20 d 的时候,粗蛋白含量由未接种时的 15.58%提高到 23.90%,增加了 53.4%;粗脂肪含量由未接种时的 6.72%提高到 12.31%;粗

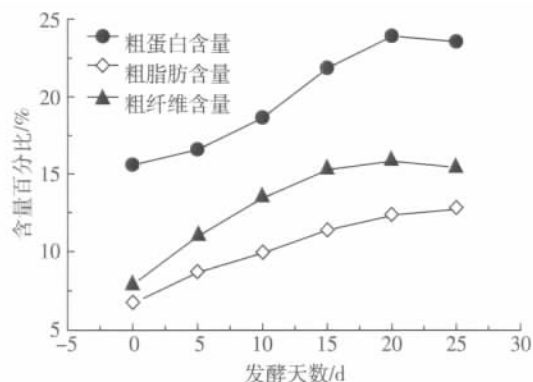


图 2 发酵时间对饲料成分变化的影响

Figure 2 Effect of fermentation time to feedstuff components

纤维素从 7.88% 提高到 15.83%，完全符合国家蛋白饲料粗蛋白>20%、粗纤维<18%的标准^[13]。由此可以看出,复合培养基接菌后,随着羊肚菌菌丝体的生长,能够大大增加培养基中粗蛋白、粗脂肪和粗纤维素的含量。观察长满菌丝体的培养基,可以看到随发酵天数增加,菌丝体密度越来越大,分布均匀,培养基灭菌后产生的焦苦味越来越淡,发酵 15、20 d 的培养基都有一股浓郁的蘑菇香味。由于发酵时间延长至 25 d 时,仅有粗脂肪含量略有上升,不利于其他两个指标的积累,因此将羊肚菌转化厨余垃圾和豆渣作饲料的最佳发酵时间定为 20 d。

2.3 发酵温度对羊肚菌转化饲料的影响

温度对羊肚菌转化饲料品质有重要的影响,不同温度下羊肚菌转化复合培养基的结果见图 3。从图中可以看出,在温度由 19℃ 升高到 22、25℃ 的情况下,培养基粗蛋白质含量呈增加趋势,而由 25℃ 升高到 28℃ 时,粗蛋白含量略有下降,由此可见 22℃ 和 25℃ 的培养温度有利于培养基转化蛋白饲料。而对于粗脂肪来说,其含量随温度升高呈现一个由低到高再低的趋势,因此选择 25℃ 的温度最有利于粗脂肪的积累。粗纤维的含量基本上在 22、25℃ 两个温度梯度下没有明显的区别,都在 15% 左右。观察长满菌丝体的培养基,可以看到温度为 25℃ 培养下的菌丝密度相对最均匀;而且在 22、25℃ 和 28℃ 培养温度下的培养基几乎闻不到焦苦味,都有一股浓郁的蘑菇香味。综合考虑,把最佳培养温度定为 25℃。

2.4 pH 对羊肚菌转化饲料的影响

pH 对羊肚菌转化饲料品质也有重要的影响,不同温度下羊肚菌转化复合培养基的结果不同。由图 4 可以看出,当培养基 pH 在 6~8 之间时,粗蛋白、粗脂肪、粗纤维素的积累值都相对较高。对粗蛋白质来说,

pH 为 6 和 7 时其都超过 23%;粗纤维素含量在 pH 为 7 时达到最大值 15.35%,粗脂肪含量在 pH 为 6~8 之间都维持在 12% 以上,差别基本不大。可以看出在适宜 pH 值下菌丝生长状况稳定,各有效成分含量均维持在较高的水平。观察饲料品质,可以看到在 pH 为 7~8 之间,菌丝体已经能够均匀长满整个培养基,有很浓郁的蘑菇香味,完全闻不到培养基灭菌后产生的焦苦味道。随培养基 pH 值增大,菌丝生长愈见不佳,未能长满整个培养基,且能够明显闻到培养基中的焦苦味道。综上可知,自然状态下培养基的 pH,即中性环境已经能够使得羊肚菌菌丝体有很好的生长,因此转化过程中无需再对培养基 pH 进行调适。

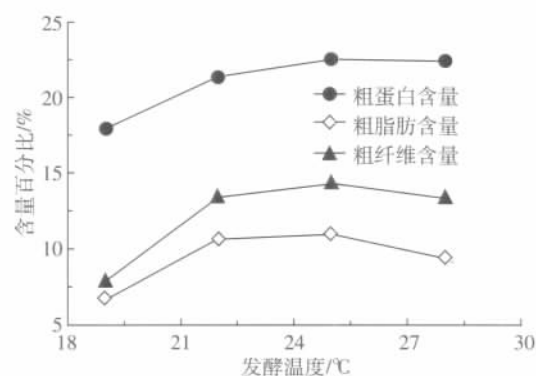


图 3 发酵温度对饲料成分变化的影响

Figure 3 Effect of fermentation temperature to feedstuff components

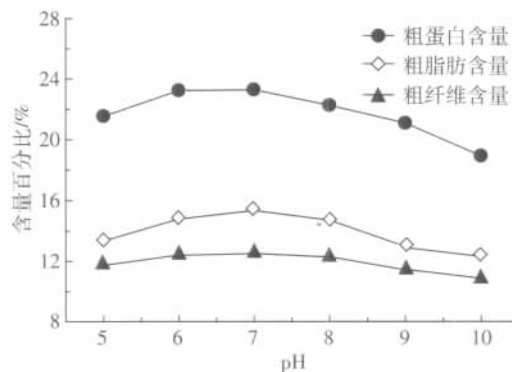


图 4 pH 对饲料成分变化的影响

Figure 4 Effect of pH to feedstuff components

2.5 含水率对羊肚菌转化饲料的影响

含水率对羊肚菌转化饲料也有重要的影响,不同培养基含水率对饲料品质有不同的转化结果。由图 5 可以看出,培养基粗蛋白质的含量随着含水率的增大一直处于上升的趋势,且在含水率为 65% 时达到最大值,其后在含水率为 70% 时又有所下降。而粗脂肪含量明显在含水率 65% 的时候积累最多。粗纤维素含量在含水率从 50% 增大到 60% 的过程中也呈持续增大

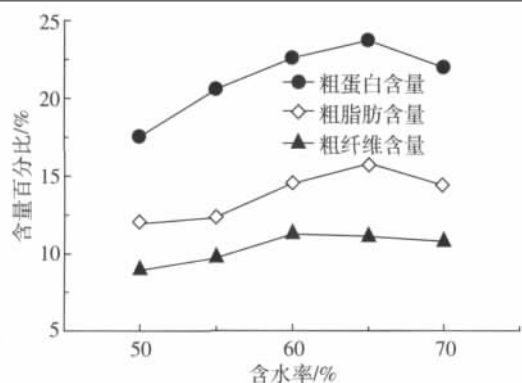


图5 含水率对饲料成分变化的影响

Figure 5 Effect of moisture content to feedstuff components

状态,但在60%和65%两种含水率下几乎没有差别,而在70%含水率时略有下降。因此,60%~65%的含水率是较为可取的。观察饲料形状,含水率50%的培养基菌丝未长满,其焦苦味盖过菇香味,而含水率60%、65%和70%的培养基,菌丝体生长状况好、分布均匀、香味浓郁。综合考虑,含水率选取65%为最佳。

2.6 接种量对羊肚菌转化饲料的影响

培养基接种量不同,对羊肚菌转化饲料品质的影响也不同。由图6可以看出,通过接种不同量的羊肚菌菌液,22℃下培养15d,饲料品质有不同程度的变化。添加15%、20%和25%菌液的培养基粗蛋白质的含量比接种量5%、10%的有明显增加,可见接种量越大,菌丝生长快,粗蛋白含量提高越大。对于粗脂肪含量,在接种量20%时积累达到最大值,小于或大于这个值积累量都有所下降。而对于粗纤维量来说,从10%增加到25%的接种量下,呈缓慢增大的趋势,可见它的积累也是随着接种量增加而增加的。但考虑到15%、20%、25%的接种量对饲料品质改善区别不大,并且通过观察饲料外观,15%接种量的基质菌丝分布已经很均匀,蘑菇香味也非常浓郁。因此,将最佳接种

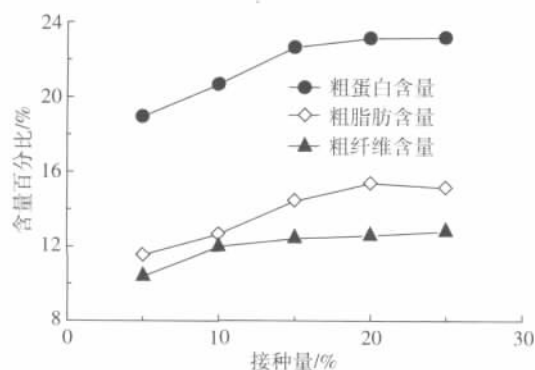


图6 接种量对饲料成分变化的影响

Figure 6 Effect of inoculation quantity to feedstuff components

量定为15%。

3 讨论

就时间因素可以明显看到,在一定范围内,随着培养时间的延长,用于做饲料的培养基中粗蛋白的含量是呈持续增长的。分析原因是在饲料营养成分指标中,蛋白质以粗蛋白含量计,而粗蛋白含量由样品中的总含氮量乘以蛋白质系数而求得。一方面羊肚菌菌原液中本身含有氨基氮,因而在加入菌液后试样的含氮量必然有少量增加;另一方面,如同周朝勤^[14]研究指出的,微生物在生长代谢中进行的有氧呼吸会使少部分淀粉类基质氧化为二氧化碳和水,使发酵后的样品实际质量少于原料投加量。因此在微生物生长过程中,随着培养天数的延长,基质质量减轻,含氮量有所增加。但是在一定发酵时间以后,随着微生物对环境营养物质消耗,其生长能力下降,生物量不再增加,呼吸和代谢作用减慢,从而不会再对培养基进行有效的转化,蛋白质含量也就不会再提高。

而对于粗纤维来说,随着发酵时间的延长,其含量较未接种微生物前呈缓慢线性增长趋势。理论上羊肚菌会对底物中的纤维素进行降解,使粗纤维含量降低,但试验结果却是底物粗纤维含量反而增加,似乎与理论相悖。其原因可能是微生物通常仅在以纤维素作为唯一底物时才能产生大量的分解纤维素的酶类,当有其他底物时,酶的产生受到抑制。由于餐厨垃圾中含有大量的淀粉、糖类、蛋白质等营养底物,从而可能抑制纤维素酶的产生。粗纤维含量增加的另一个原因是,基质氧化分解造成样品质量减少而使计算的粗纤维含量值增高。粗纤维素含量在发酵时间延长至20d时达到极值,但文献中说明羊肚菌菌丝体在生长过程中能够产生大量有益的膳食粗纤维,而其在20d时的极值15.83%仍在优质饲料纤维素允许范围(小于18%)内^[6],因此不影响饲料品质。

粗脂肪含量随着培养时间延长也基本呈现增大的趋势,但时间超过20d,开始呈现下降趋势。粗脂肪是饲料、动物组织、动物排泄物中脂溶性物质的总称。饲料脂肪不但是能值较高的能量物质,而且是牲畜生长发育过程中的必需营养素。饲料中添加脂肪可以调控牲畜皮下脂肪组织的构成和肌肉中的脂肪沉积,从而影响肉的品质^[15]。饲料中脂肪的添加量过少,就达不到预期效果,过多则会降低适口性,影响牲畜对饲料的消化吸收和其他营养水平的平衡。据文献报道,羊肚菌子实体粗脂肪含量在4%左右,且饱和脂肪

酸占优势,还具有药用功能^[16]。因此,在优质蛋白饲料标准下粗脂肪的积累对于饲料品质的影响可视为有益的。兼顾到粗蛋白和粗纤维素含量变化,可以得出培养时间在 20 d 左右比较合适。

温度因素对于羊肚菌固体发酵厨余和豆渣混合物制饲料也有一定影响。从图 2 可以看出粗蛋白、粗脂肪和粗纤维 3 种组分的含量变化随温度变化趋势基本相似,都在 25 ℃时得到一个最大积累。刘世旺等采用摇瓶试验表明 PYG 培养基下羊肚菌液体培养最佳温度为 25 ℃,此时羊肚菌菌丝生物量积累最大并且合适的温度能缩短发酵时间,温度低则发酵时间相对延长^[17]。据此可以看出,羊肚菌菌丝体的生长状况好坏与 3 种营养成分的积累状况直接相关,有利于菌丝体生长的温度对于微生物提高饲料品质的作用也是最大的,选择 25 ℃的培养温度最为合理。

pH 对于羊肚菌发酵制取饲料的实验中,随着 pH 值从 6 增至 8,粗蛋白、粗纤维和粗脂肪积累量都维持在较高水平。在偏酸或偏碱条件下,固体培养基 3 种成分含量都有不同程度的下降。实验中得到的这个能够对培养基营养成分改善最大的羊肚菌生长酸碱环境与王得贤等^[18]得出的羊肚菌菌丝生长适宜 pH 为 6~8 是相符的。可见菌丝体生长状况直接影响到其所含营养成分的变化,这与前面试验得出的结论也是符合的。因此,选择自然状态下的培养基,即 pH 在中性左右便可以进行有效转化,无需再进行 pH 调整。

从含水率对于羊肚菌固体发酵制饲料的实验中可以看出,培养基含水率在 60%~70%之间时,固料粗蛋白、粗脂肪、粗纤维的积累量均达到最大值,这说明在此含水率下,微生物的生长状态达到最佳,这与常见的蘑菇固体栽培基质含水率为 60%~70%是符合的。Raimbault 在研究中得出充足的水分对于蘑菇生长是必要的,但水分过多会引起固体基质孔隙度增大、溶解氧减少,直接导致蘑菇生长不好或易感染杂菌^[19]。由本实验结果也可以看出,羊肚菌在此含水率范围内蛋白质和粗脂肪的积累值都达到最高。因此,培养基含水率选择 65%较为合适。

在接种量对固体发酵实验中可以看到,在相同培养天数下,随接种量增大,其粗蛋白、粗纤维、粗脂肪积累量也越大。究其原因有二:一是接种量大的,本身带入了一些原液体培养基中的营养成分,使得固体培养基中含氮量增大;二是接种量越大,培养基中初始菌含量越大,因此对厨余和豆渣转化作用进行的就越快,从而导致在相同培养时间下有效成分积累量就

大。但初始接种量太大时,在有限的生长环境和营养下对基质转化作用的提高就不再明显,对菌液原料也是一种浪费,故选择 15%的接种量是较为合适的。

4 结论

厨余垃圾和豆渣按照 3 个质量配比混合,接种羊肚菌进行试验,得出 1:1 混合下得到的饲料中粗蛋白含量最大,符合蛋白饲料标准。按此原料配比,选取发酵过程中的 5 个因素的不同水平进行实验,得出分别在发酵时间为 20 d,发酵温度为 25 ℃,pH 在自然状态下,含水率为 65%,接种量为 15%时,饲料品质达到最佳。饲料中粗蛋白质含量均在 20%以上,粗脂肪含量均小于 17%,粗纤维含量小于 16%,符合国家蛋白饲料标准。

用羊肚菌来发酵厨余垃圾混合豆渣制取饲料,能够对厨余和豆渣两种废物进行合理利用,并大大提高饲料蛋白质含量,是一种可行的饲料制备方法,具有重要的应用前景。

参考文献:

- [1] 张振华,汪华林,胥培军,等.厨余垃圾的现状及其处理技术综述[J].再生资源研究,2007,5:31-34.
ZHANG Zhen-hua, WANG Hua-lin, XU Pei-jun, et al. Food wastes situation and the dealing methods review[J]. *Chinese Journal of Research of Renewable Resources*, 2007, 5: 31-34.
- [2] Esteban M B, Garcí'a A J, Ramos P, et al. Evaluation of fruit-vegetable and fish wastes as alternative feedstuffs in pig diets[J]. *Waste Management*, 2007, 27: 193-200.
- [3] 李 俊,刘李峰,张 晴.餐厨废弃物用作动物饲料国内外经验及科研进展[J].饲料工业,2009,30(21):54-57.
LI Jun, LIU Li-feng, ZHANG Qing. Experiences at home and abroad and research progress on turning kitchen waste into feedstuff[J]. *Chinese Journal of Feedstuff Industry*, 2009, 30(21): 54-57.
- [4] 张振山,叶素萍,李 泉.豆渣的处理与加工利用[J].食品科学,2004,25(10):400-405.
ZHANG Zhen-shan, YE Su-ping, LI Quan. The processing and utilizing of okara[J]. *Chinese Journal of Food Sciences*, 2004, 25(10): 400-405.
- [5] Membrillo I, Sa'nchez C, Marcos M, et al. Effect of substrate particle size and additional nitrogen source on production of lignocellolytic enzymes by *Pleurotus ostreatus* strains[J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99: 7842-7847.
- [6] 陈金钟,邹苏焕,宋兴福.泔脚与秸秆混合发酵法生产蛋白饲料的新工艺流程[J].上海环境科学,2003,22(12):998-1000.
CHEN Jin-zhong, ZOU Su-huan, SONG Xing-fu. New flow process of producing protein feedstuff by mixed fermentation method of food residue and straw[J]. *Chinese Journal of Shanghai Environmental Sciences*, 2003, 22(12): 998-1000.
- [7] 陈贵才,戴德慧,黄光荣,等.泔水垃圾发酵生产微生态蛋白饲料工

- 艺条件的研究[J]. 饲料工业, 2007, 28(9): 26–30.
- CHEN Gui-cai, DAI De-hui, HUANG Guang-Rong, et al. Optimization of condition for micro-ecology protein feed from waste food[J]. *Chinese Journal of Feed Industry*, 2007, 28(9): 26–30.
- [8] TSAI Shu-Hsien, LIU Ching-Piao, YANG Shang-Shyng. Microbial conversion of food wastes for biofertilizer production with thermophilic lipolytic microbes[J]. *Renewable Energy*, 2007, 32: 904–915.
- [9] Zhang Gui-Ping, Zhang Feng, Ru Wen-Ming et al. Solid-state fermentation of cornmeal with the ascomycete *Morchella esculenta* for degrading starch and upgrading nutritional value[J]. *Microbiol Biotechnol*, 2010, 26: 15–20.
- [10] 王 勇. 苹果渣混合秸秆发酵生产牛饲料的研究[D]. 西安: 西北大学, 2005.
- WANG Yong. Solid-state fermentation of apple pomace and corn stalk into feedstuff[D]. Xi'an: Northwestern University, 2005.
- [11] 李秀金, 韩鲁佳, 崔引安, 等. 用平菇将作物废弃物转化成饲料的初步研究[J]. 中国农业大学学报, 1997, 2(2): 69–72.
- LI Xiu-jin, HAN Lu-jia, CUI Yin-an, et al. Converting crop wastes to feed with *Pleurotus ostreatus*[J]. *Journal of China Agricultural University*, 1997, 2(2): 69–72.
- [12] Gilbert F A. The submerged culture of *Morchella esculenta*[J]. *Mycologia*, 1960, 52: 201–209.
- [13] 李 华, 史晓萍, 张景云, 等. 新编实验动物学[M]. 沈阳: 辽宁民族出版社, 2006: 80–81.
- LI Hua, SHI Xiao-ping, ZHANG Jing-yun, et al. New experimental zoology[M]. Shenyang: Liaoning People Press, 2006: 80–81.
- [14] 周朝勤. 微生物发酵物含氮量变化之我见[J]. 饲料工业, 1995, 16(8): 4–5.
- ZHOU Chao-qin. My opinion about the nitrogen variation during Microbial fermentation[J]. *Chinese Journal of Feed Industry*, 1995, 16(8): 4–5.
- [15] 丛玉艳, 张建勋. 饲料脂肪对猪肉品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2005, 5: 44–45.
- CONG Yu-yan, ZHANG Jian-xun. The influence of feed stuff to pork quality[J]. *Food and Food Industry*, 2005, 5: 44–45.
- [16] 陈向东, 朱 戎, 兰 进. 羊肚菌研究进展[J]. 食用菌学报, 2002, 9(2): 56–61.
- CHEN Xiang-dong, ZHU Rong, LAN Jin. The research progress of *Morchella esculenta*[J]. *Acta Edulis Fung*, 2002, 9(2): 56–61.
- [17] 刘士旺. 羊肚菌液体培养研究初报[J]. 食用菌学报, 1998, 5(3): 31–37.
- LIU Shi-wang. Research of the submerged culture of *Morchella esculenta*[J]. *Acta Edulis Fung*, 1998, 5(3): 31–37.
- [18] 王得贤, 杨冬梅, 肖 锋. 羊肚菌生物学特性的初步研究[J]. 食用菌, 2004(1): 9.
- WANG De-xian, YANG Dong-mei, XIAO Feng. Preliminary study of the biological characters of *Morchella esculenta*[J]. *Edible Fungi*, 2004(1): 9.
- [19] Raimbault M, Didier A. Culture method to study fungal growth in solid fermentation[J]. *Applied European Journal of Microbiology and Biotechnology*, 1980, 9: 199–209.