



生物资源

Biotic Resources

ISSN 2096-3491, CN 42-1886/Q

《生物资源》网络首发论文

题目：高粱秸秆栽培大球盖菇的品质和产量与优势分析
作者：李森，罗霄天，秦心儿，李克彬，沈祥陵，刘世玲
收稿日期：2023-07-19
网络首发日期：2023-11-09
引用格式：李森，罗霄天，秦心儿，李克彬，沈祥陵，刘世玲. 高粱秸秆栽培大球盖菇的品质和产量与优势分析[J/OL]. 生物资源.
<https://link.cnki.net/urlid/42.1886.Q.20231108.1010.002>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

高粱秸秆栽培大球盖菇的品质和产量与优势分析

李森¹, 罗霄天¹, 秦心儿¹, 李克彬², 沈祥陵², 刘世玲^{1*}

- 三峡大学 三峡区域植物遗传与种质创新重点实验室/生物技术研究中心, 湖北 宜昌 443000;
- 宜昌市农业科学研究院 微生物研究所, 湖北 宜昌 443000)

摘要: 以高粱秸秆和玉米芯为主要的栽培基质原料栽培大球盖菇, 在大棚中比较不同高粱秸秆含量基质中的营养成分, 及不同栽培料配比对大球盖菇子实体营养成分和产量的影响。结果表明: 与对照相比, 高粱秸秆代替玉米芯配方基质中木质素、纤维素、还原糖占比分别最高提升 11.94%、12.55%、3.88%。较高含量的木质素、纤维素和还原糖基质有利于大球盖菇的生长和发挥大球盖菇分解木质素的优势; 与对照相比, 高粱秸秆培养大球盖菇子实体中脂肪和还原糖占比分别最高提升 1.28% 和 1.39%; 当高粱秸秆添加量达到 49% 时, 基质中木质素和还原糖含量占比分别提升 6.36% 和 1.44%, 子实体中多糖含量无显著变化, 脂肪和还原糖含量占比分别提升 0.61% 和 0.89%, 初潮菇产量增加 0.85kg。因此, 添加 49% 含量高粱秸秆为大棚培养大球盖菇的最佳添加量。

关键词: 高粱秸秆; 大球盖菇; 代料; 大棚

中图分类号: S514

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(XXXX)XX-0001-07

Analysis of quality, yield and advantages of *Stropharia rugosoannulata* cultivated from sorghum straw

LI SEN¹, LUO Xiaotian¹, QIN Xiner¹, LI Kebin², SHEN Xiangling², LIU Shiling^{1*}

- Key Laboratory of Three Gorges Regional Plant Genetics & Germplasm Enhancement/Biotechnology Research Center, China Three Gorges University, Yichang 443000, Hubei, China;
- Yichang Academy of Agricultural Science, Microbiology Research Institute, Yichang 443000, Hubei, China)

Abstract: Using sorghum straw and corn cob as the main cultivation substrate raw materials to cultivate *Stropharia rugosoannulata*, the nutritional components of different sorghum straw content substrates and the effects of different cultivation material ratio on the nutritional components and yield of the fruiting body were compared in the greenhouse. The results showed that compared with the control, the proportion of lignin, cellulose and reducing sugar in the different formula matrix was most increased by 11.94%, 12.55% and 3.88%, respectively. The higher content of lignin, cellulose, and reducing sugar matrix is conducive to the growth and the ability to decompose lignin in *Stropharia rugosoannulata*. Compared with the control, the proportion of fat and reducing sugar in the fruiting body of *Stropharia rugosoannulata* cultivated with sorghum straw increased by 1.28% and 1.39%, respectively. When the amount of sorghum straw added reached 49%, the proportion of lignin and reducing sugar in the substrate increased by 6.36% and 1.44%, respectively. There was no significant different in the polysaccharide content between the two groups were observed. The proportion of

收稿日期: 2023-07-19 修回日期: 2023-10-16

作者简介: 李森(1998-), 男, 硕士, 研究方向: 食用菌遗传育种。E-mail: lisen1595573210@163.com

* 通讯联系人: 刘世玲(1966-), 女, 本科, 高级工程师, 研究方向: 应用微生物学。E-mail: 2896006619@qq.com

基金项目: 中国科协创新助力工程地区特色农业产业战略联盟会地合作科技服务项目(SDHZ2020199)

引用格式: 李森, 罗霄天, 秦心儿, 等. 高粱秸秆栽培大球盖菇的品质和产量与优势分析[J]. 生物资源, XXXX, XX(X X): 1-7.

LI SEN, LUO Xiaotian, QIN Xiner, et al. Analysis of quality, yield and advantages of *Stropharia rugosoannulata* cultivated from sorghum straw [J]. Biotic Resources, XXXX, XX(X X): 1-7.

fat and reducing sugar content increased by 0.61% and 0.89%, respectively, and the yield of the first mushrooms increased 0.85 kg. Therefore, 49% of sorghum straw was added as the optimum addition to cultivate *Stropharia rugosoannulata* in greenhouse.

Key words: Sorghum straw; substitute material; *Stropharia rugosoannulata*; greenhouse

0 引言

大球盖菇(*Stropharia rugosoannulata* Farlow)又名球盖菇,裴氏球盖菇,赤松茸等,属于担子菌门(Basidiomycota)层菌纲(Hymenozymetes)伞菌目(Agaricales)球盖菇科(Strophariaceae)球盖菇属(*Stropharia*)的一种真菌品种,广泛分布于欧洲和美洲。在20世纪90年代中国开始逐渐引种栽培^[1]。大球盖菇开伞前肉质饱满,子实体直径可达10~15 cm,顶端呈圆形或半球形,表面呈灰褐色,具有深褐色的鳞片状斑点^[2]。大球盖菇开伞后菌褶呈白色,随着时间的推移菌褶开始变灰,晚期呈现暗褐色,大球盖菇通常在有机物质较多的腐料中生长,如腐烂的木材中等,适宜生长的温度为15℃~25℃,合适的湿度为70%~80%。在适宜的温湿度下,大球盖菇的生长速度很快,一般在30~40天时就能够收获^[3]。大球盖菇作为担子菌中的草腐菌,曾作为联合国粮农组织向发展中国家推荐栽培种植的重要食用菌之一^[1]。

大球盖菇营养丰富肉质鲜美,无机矿物质含量丰富,其中磷含量最高,每100 g干菇中含磷元素1204 mg,钙元素98.34 mg,铁元素32.51 mg,同时含有丰富的维生素D,可促进人类对钙的吸收和骨骼生长,对于预防骨质疏松症等有一定的作用^[4]。大球盖菇蛋白含量高于粮食和水果,与肉类和蛋类相差不大,其子实体中含有所有人体必须的8种氨基酸,含有的多糖物质具有预防心肌梗塞和动脉硬化的作用,同时对癌症的治疗有一定疗效^[5]。大球盖菇栽培简单粗放,可田间直接铺料栽培,对栽培料要求低,生料熟料均可栽培^[3]。可采用秸秆,木屑,稻壳等各种农业废物作为栽培料^[6];栽培大球盖菇环节少,原料价格低,栽培成本低,产量高,市场价格高,具有很高的商业价值^[7]。

秸秆为农作物成熟后茎叶部分的总称,常指小麦玉米等作物收获后剩余的部位,包含光合作用一半以上的产物,富含有机质,碳含量高^[8]。中国作为农业大国,每年产生大量农作物秸秆,然而秸秆的处理是一大难点,其中30%的农作物秸秆被烧毁或丢弃,不仅浪费耕地且污染空气^[9]。目前,秸秆主要的利用方式有还田作为肥料、作为牲口饲料、用于燃料,其中还田的方式占比80%以上,但效果并不理

想,原因是该方法能提高土壤中的有机物含量,然而秸秆中富含大量木质素和纤维素等纤维成分,还田后分解缓慢,氮磷钾利用率低下,影响来年继续种植作物^[10]。秸秆粗蛋白含量低,高硅酸盐的特点又不适合其作为动物饲料^[11]。而食用菌可作为秸秆再利用和还田的连接桥梁,实现循环农业,秸秆可用于基质培养食用菌,食用菌收获后的菌糠易于分解,可直接作为有机肥还田,提高土壤肥力,从而形成可循环、无污染的农业模式^[12]。使用秸秆培育食用菌的方式已有较多研究,使用不同含量的水稻秸秆培养大球盖菇,确定了林下大球盖菇水稻秸秆的最佳用量为30~40 kg/m²^[13];研究得到向平菇培养基质中加入紫苏秸秆可使平菇的品质提高^[14];提前堆料处理的玉米秸秆基质可以显著提高草菇、平菇和香菇的效益^[15]。

高粱在中国种植广泛,作为一种C4作物,具有光合作用效率高,含碳量丰富,秸秆占比高的特点,秸秆中可溶性糖、纤维和钙离子含量均比玉米秸秆高^[16]。高粱秸秆虽然含有丰富的营养,含碳量高,但质地较硬,难以分解,每年产生的大量高粱秸秆多数被焚烧、还田或丢弃,造成了环境的污染以及资源的浪费^[17]。使用高粱作为基质培养食用菌已经在香菇、双孢蘑菇和平菇等菇类中广泛研究,但使用高粱秸秆栽培大球盖菇的研究却鲜有报道^[18~20]。大球盖菇降解木质素和纤维素的能力强,能轻易降解高粱秸秆等高纤维基质,亩产高,出菇完全后基质几乎无残留或产生少量易分解的残渣^[21];因此,高粱秸秆适合作为基质培养大球盖菇。不仅如此,大球盖菇产量高,栽培粗放,给农村带来经济效益的同时还能无公害处理高粱秸秆,可促进高粱和大球盖菇产业的交叉循环发展,为改善农村环境,构建美丽乡村提供帮助。

本试验以高粱秸秆作为基质培养大球盖菇,对不同含量高粱秸秆的营养成分以及大球盖菇的产量和品质进行测定,为高粱秸秆作为基质培养大球盖菇提供参考依据,为高粱秸秆培养大球盖菇优势研究提供理论基础。

1 材料与方

1.1 试验地点

在湖北省远安县何仙姑菌业食用菌栽培棚开展试验,实验棚如图1所示,实验棚长24 m,宽7 m,高4 m。自然光照条件,大棚温度设置在20℃左右,湿度在80%左右,适当通风处理。试验在海拔600 m进行。

1.2 试验材料

由宜昌市农科院提供大球盖菇栽培菌种——大球盖菇1号。由三峡大学生物技术中心提供高粱秸秆(*Sorghum bicolor*,品种:红缨子)、玉米芯和木屑材料。所有材料自然晒干两个月。高粱秸秆的主要成分为纤维素和木质素^[16],玉米芯的主要成分为糖类和淀粉^[22],木屑的主要成分为木质素^[23]。将高粱、玉米芯和木屑粉碎成0.5 cm左右的大小;其中木屑按料水比1:1.2调湿,堆高1.5 m,堆宽1.8 m,提前20天堆料发酵。玉米芯和高粱秸秆直接生料铺料。

1.3 方法和条件

首先对试验栽培棚使用生石灰进行杀虫杀菌处理,每亩75公斤。使用划线整厢种植法,按照表1配方进行试验,每组配方使用基质346 kg,每组试验3次重复,将各组所有培养料混合,铺到试验棚。将每个编组梯度以7.5 m厢长的长度进行试验。每厢宽80 cm,走道80 cm。厢高50~60 cm,按照3层料2层菌种的方式进行播种,菌丝长满培养料三分之一后进行覆土,然后覆盖1~2 cm稻草,以利保湿。

试验从2021年10月25号开始,到2022年1月21号初潮菇出菇时结束,试验周期约3个月。

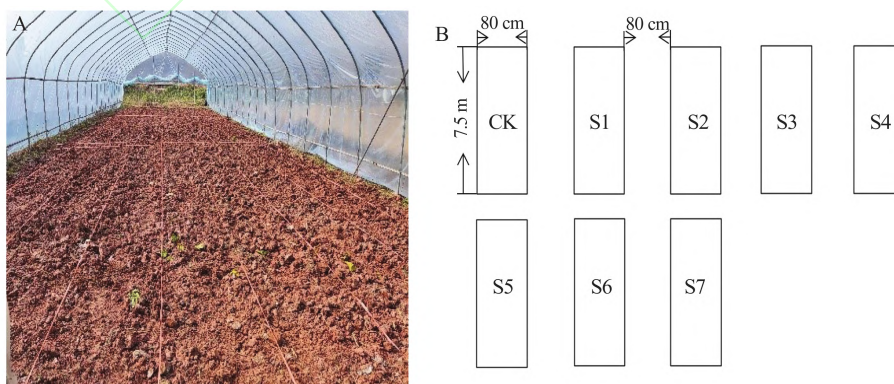


图1 大球盖菇栽培棚

Fig. 1 Cultivation shed of *Stropharia rugosoannulata*

注:A,大球盖菇栽培棚,图为划线整厢过程;B,厢式小区布局图,CK,S1,S2,S3,S4,S5,S6,S7表示不同试验组

Note: A, large bulbous mushroom cultivation shed, the picture shows the process of drawing lines and making a trapezoidal shape; B, box cell layout drawing, CK, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 represent different test groups

表1 不同试验组配方含量

Table 1 Different test group formulations

| 编组 | 木屑 | 高粱秸秆 | 玉米芯 |
|----|----|------|-----|
| CK | 30 | 0 | 70 |
| S1 | 30 | 7 | 63 |
| S2 | 30 | 21 | 49 |
| S3 | 30 | 35 | 35 |
| S4 | 30 | 49 | 21 |
| S5 | 30 | 63 | 7 |
| S6 | 30 | 70 | 0 |

%

数据为质量分数

1.4 项目测定

1.4.1 不同试验组基质生化含量的测定

将不同试验组基质烘干粉碎后,过60目筛,用于后续测定。还原糖含量测定采用蒽酮法^[24],木质素含量测定采用乙酰溴法^[25],纤维素含量测定采用浓硫酸水解法^[24]。

1.4.2 不同试验组大球盖菇子实体生化含量的测定

将不同试验组子实体烘干粉碎后,过60目筛,用于后续测定。蛋白质含量测定使用考马斯亮蓝G-250法^[24],脂肪含量使用石油醚利用索氏抽提器的方法测定^[24],多糖含量采用苯酚硫酸法测定^[26],还原糖含量测定采用蒽酮法^[24]。

1.4.3 大球盖菇产量的测定

待大球盖菇子实体成熟时测定,统计每个组别初潮鲜菇的总产量。

1.5 数据分析

使用Microsoft Excel 2016软件对试验数据初步

整理,使用 spss 17.0 对数据进行方差和显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 不同配方基质还原糖含量分析

在食用菌菌丝生长阶段,可直接利用的还原糖是其主要碳源^[21]。通过对不同配方基质还原糖含量测定结果可知(图2),S1、S2和CK基质还原糖含量没有显著差异;随着高粱秸秆质量分数的提高,从S3开始,基质中还原糖含量逐渐提升并在S6中达到最高值。这可能跟S1和S2中高粱秸秆含量较少有关。这些结果说明在大球盖菇菌丝生长阶段,高粱秸秆能提供更多的可直接利用碳源,帮助大球盖菇菌丝前期的生长与扩增。

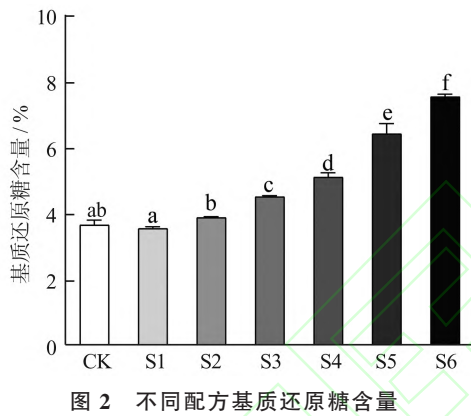


Fig. 2 Reducing sugar content in different formulation matrices

注:误差线表示三次独立实验的标准差。不同小写字母表示显著差异 ($P < 0.05$)

Note: Error bars represent the standard deviation of three independent experiments. Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$)

2.2 不同配方基质纤维素和木质素含量分析

纤维素和木质素是秸秆的主要成分,也是秸秆栽培食用菌时菌类的主要碳源^[27]。纤维素是纤维的骨骼物,也是纤维的主要成分,通过对不同基质配方的纤维素含量测定可知(图3a),S1、S2、S3、S4、S5与CK相比无显著差异,只有高粱秸秆含量最高的S6与玉米芯含量最高的CK相比纤维素含量显著升高,说明以高粱秸秆作为大球盖菇的培养基质能提供和玉米芯几乎同样的纤维素碳源,供给大球盖菇培养。木质素作为一种物理屏障,起着赋予纤维机械强度以及保护纤维素免遭微生物攻击及相关酶消化的作用,也是作物秸秆难以分解的主要原因^[28]。通过对不同配方基质中木质素含量的分析可以发现(图3B),与CK相比,S1中木质素含量没有显著上升,但是从S2开始木质素含量逐渐升高并在S6中达到最高值,S6与CK的木质素含量相差12%,这说明高粱秸秆中含有更高含量的木质素,能为大球盖菇这种木质素分解能力强的菇类提供充足的木质素。

2.3 不同配方大球盖菇子实体品质分析

通过对不同配方大球盖菇子实体中多糖和还原糖的测定可知(图4A和D),与CK相比,不同组别子实体多糖有显著的降低或差异不显著,而还原糖含量从S2开始有显著升高趋势,且在S6达到最大。通过对不同配方大球盖菇子实体中蛋白质和脂肪的测定可知(图4B和C),与CK相比,添加高粱秸秆培养的大球盖菇,子实体蛋白含量始终减少,但是脂肪含量从S3到S6始终显著升高。综上可知,使用高粱秸秆培养大球盖菇,更有利于其子实体中还原糖和脂肪的积累。

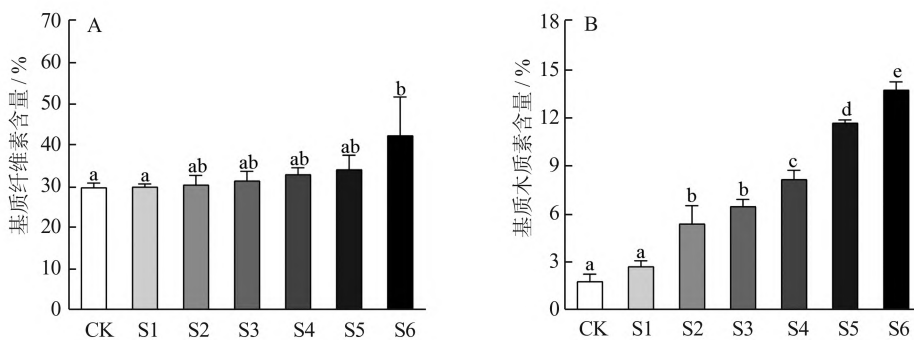


图3 不同配方基质纤维素和木质素含量

Fig. 3 Cellulose and lignin content in different formulation matrices

注:误差线表示三次独立实验的标准差;不同小写字母表示显著差异 ($P < 0.05$)

Note: error bars represent the standard deviation of three independent experiments; different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$)

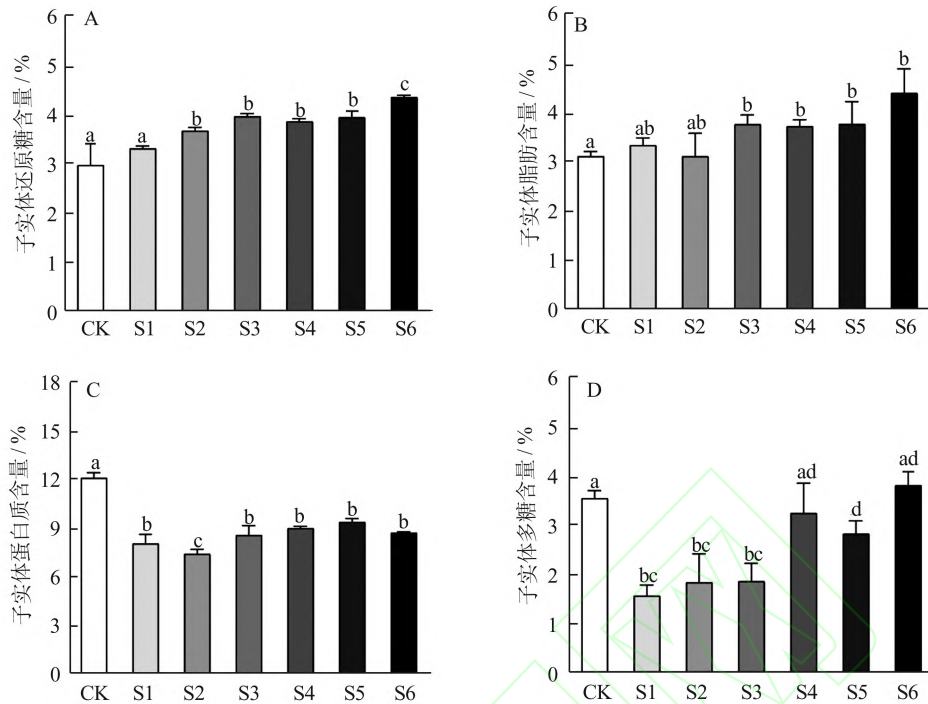


图 4 不同配方基质大球盖菇子实体品质分析

Fig. 4 Quality analysis of fruiting bodies of *Stropharia rugosoannulata* in different formula matrices

注:误差线表示三次独立实验的标准差。不同小写字母表示显著差异 ($P < 0.05$)

Note: error bars represent the standard deviation of three independent experiments. Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$)

2.4 不同配方大球盖菇初潮菇产量分析

从不同配方基质大球盖菇初潮菇产量可以看出(表2),S1到S5产量均比CK高,S3的产量最高,说明适量的添加高粱秸秆的组别出菇的时间更早(图5)。S6初潮菇产量为0 kg,说明高粱秸秆含量过高也会抑制出菇。

表 2 不同配方基质大球盖菇初潮菇产量

Table 2 Yield of mengest *Stropharia rugosoannulata* of different formula substrates

| 编组 | 初潮菇产量 |
|----|------------------------|
| CK | 0.05±0.01 ^a |
| S1 | 2.70±0.40 ^b |
| S2 | 7.40±0.58 ^c |
| S3 | 8.20±0.61 ^c |
| S4 | 0.90±0.07 ^d |
| S5 | 1.20±0.07 ^e |
| S6 | 0±0 ^f |

注:数据为平均值±标准差,不同小写字母表示显著差异 ($P < 0.05$)

Note: data are mean ± standard deviation, with different lowercase letters indicating significant differences ($P < 0.05$)



图 5 初潮菇子实体

Fig. 5 Fruiting body of the first mengese mushroom

注:图为S3试验组初潮菇子实体

Note: the figure shows the fruiting body of the first mengese mushroom in the S3 experimental group

3 结论与讨论

本实验证明,随着栽培基质中高粱秸秆含量的提升,基质中木质素的含量也显著提升,S6组中提升高达12%,而大球盖菇有很强的木质素降解能力^[7],说明基质中高粱秸秆的添加适用于大球盖菇的培育。另外,通过基质中纤维素含量的测定发现

在大绝大多数实验组中并没有显著改变基质中纤维素的含量,说明作为原基质配方中主要碳源的纤维素含量并没有显著改变,进一步论证添加高粱秸秆方案的可行性。高粱秸秆拥有更高的还原糖含量^[16],本实验也证实基质中高粱秸秆含量越高,还原糖的测定结果也越高,而还原糖又是食用菌可直接利用的碳源和菌丝体前期的主要碳源^[21],说明以高粱秸秆作为基质可能有助于大球盖菇前期菌丝体的生长;有趣的是,在大球盖菇初潮产量测定的实验中发现,在绝大多数实验组中添加高粱秸秆的基质比未添加秸秆的配方的产量更高,这与基质中还原糖含量高的结果相一致。

多糖作为食用菌的主要活性成分之一^[29],是其发挥独特药理作用的前提,经过本试验子实体多糖含量的测定发现,S4和S6中子实体多糖含量与CK没有显著差别,这说明当高粱秸秆添加量在49%或100%时与玉米芯培养的大球盖菇子实体多糖含量一致。另外,通过子实体中还原糖和脂肪含量测定可知,与只添加了玉米芯的配方相比,添加了35%含量以上的高粱秸秆配方中子实体还原糖和脂肪含量均显著提高。此外,除S6(100%高粱秸秆)外其他添加高粱秸秆的组别产量都显著提高。综上所述,我们认为配方中添加49%高粱秸秆为大棚培养大球盖菇的最佳添加量,配方中添加49%含量的高粱秸秆不仅能使产量提高,且子实体的还原糖和脂肪含量都有所提高,以高粱秸秆作为添加料培养大球盖菇不仅有产量和品质的优势,且为解决高粱秸秆处理困难提供帮助,为构建美丽乡村提供产业路子。

参考文献

- [1] 黄年来. 大球盖菇的分类地位和特征特性[J]. 食用菌, 1995, 17(6): 11.
Huang N L. Taxonomic status and characteristics of *Pleurotus ostreatus*[J]. Edible Fungi, 1995, 17(6): 11.
- [2] *Stropharia rugosoannulata* Farl. ex Murrill [Z]. Myco-Bank, 1922.
- [3] 侯俊, 贾倩, 孟庆国, 等. 大球盖菇高产关键技术[J]. 辽宁农业科学, 2017(1): 89-90.
Hou J, Jia Q, Meng Q G, et al. Key techniques for high yield of *Pleurotus ostreatus* [J]. Liaoning Agric Sci, 2017(1): 89-90.
- [4] Brodzinska Z, Lasota W. Chemical composition of cultivated mushrooms part *Stropharia rugosoannulata* [J]. Bromatologiai Chemia Toksykologiczna, 1981, 14(13): 229-38.
- [5] 王晓炜. 大球盖菇营养成分分析、多糖提取分离及抗氧化作用研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2007.
Wang X W. Analysis of nutritional components, extraction and separation of polysaccharides and antioxidant activity of *Pleurotus ostreatus* [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2007.
- [6] 陈君琛, 沈恒胜, 李怡彬, 等. 不同栽培基质对大球盖菇产量和品质的影响[J]. 中国食用菌, 2010, 29(3): 18-19.
Chen J C, Shen H S, Li Y B, et al. The effect of different culture mediums on the production and quality of *Stropharia rugosoannulata* [J]. Edible Fungi China, 2010, 29(3): 18-19.
- [7] 萨仁图雅, 图力古尔. 大球盖菇研究进展[J]. 食用菌学报, 2005, 12(4): 57-64.
WAN Sarentoya, TolgorBAU. Advances in the study on *Stropharia rugoso-annulata* [J]. Acta Edulis Fungi, 2005, 12(4): 57-64.
- [8] 高祥照, 马文奇, 马常宝, 等. 中国作物秸秆资源利用现状分析[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 242-247.
Gao X Z, Ma W Q, Ma C B, et al. Analysis on the current status of utilization of crop straw in China [J]. J Huazhong Agric, 2002, 21(3): 242-247.
- [9] 朱立志, 冯伟. 秸秆产业: 一个被忽视的潜在大产业[J]. 中国农业信息, 2012(18): 26-28.
Zhu L Z, Feng W. Straw industry—a neglected potential big industry [J]. China Agric Inform, 2012(18): 26-28.
- [10] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623.
Lao X R, Sun W H, Wang Z, et al. Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility [J]. Acta Pedol Sin, 2003, 40(4): 618-623.
- [11] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87-91.
Han L J, Yan Q J, Liu X Y, et al. Straw resources and their utilization in China [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2002, 18(3): 87-91.
- [12] 潘军, 孙凯佳, 贺丛, 等. 食用菌在秸秆生物转化饲料中的应用[J]. 家畜生态学报, 2011, 32(2): 85-91.
Pan J, Sun K J, He C, et al. Utilization of edible fungi on crop straw biodegradation into animal feed [J]. Acta Ecol Animalis Domastici, 2011, 32(2): 85-91.
- [13] 洪琦. 稻秸秆用量对林下大球盖菇子实体品质和林地土壤性质的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
Hong Q. Effects of rice straw dosage on fruiting body quality of *Pleurotus ostreatus* under forest and soil properties of woodland [D]. Shanghai: Shanghai Ocean Uni-

- versity, 2022.
- [14] 李梦雪. 紫苏秸秆对平菇生物学性状及营养品质的影响[D]. 太原: 中北大学, 2014.
Li M X. Effects of *Perilla* straw on biological characteristics and nutritional quality of *Pleurotus ostreatus* [D]. Taiyuan: North University of China, 2014.
- [15] 于惠. 玉米秸秆预处理及用作食用菌栽培基质的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
Yu H. Study on pretreatment of corn stalk and its application as substrate for edible fungi cultivation [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018.
- [16] 康健, 匡彦蓓, 盛捷. 10种作物秸秆的营养品质分析[J]. 草业科学, 2014, 31(10): 1951-1956.
Kang J, Kuang Y B, Sheng J. Analysis of nutritive value of 10 forages straw [J]. Pratacultural Sci, 2014, 31(10): 1951-1956.
- [17] 杨天育, 何继红, 董孔军, 等. 6种作物秸秆饲草营养品质的分析与评价[J]. 西北农业学报, 2011, 20(11): 39-41, 65.
Yang T Y, He J H, Dong K J, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition of six kinds of crop stalks [J]. Acta Agric Boreali Occidentalis Sin, 2011, 20(11): 39-41, 65.
- [18] 王菲. 香菇秸秆栽培配方改良及优良菌株筛选[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017.
Wang F. Improvement of cultivation formula of *Lentinus edodes* straw and screening of excellent strains [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2017.
- [19] 杨伟, 王呈祥, 王良群, 等. 高粱壳栽培双孢菇的研究[J]. 中国食用菌, 2012, 31(4): 16-18.
Yang W, Wang C X, Wang L Q, *et al.* Research about *Sorghum* hull cultivates the double spore mushroom [J]. Edible Fungi China, 2012, 31(4): 16-18.
- [20] 尹小刚. 用高粱壳和木屑为主料栽培平菇技术[J]. 食用菌, 2006, 28(3): 58.
Yin X G. Cultivation technology of *Pleurotus ostreatus* with sorghum shell and sawdust as main materials [J]. Edible Fungi, 2006, 28(3): 58.
- [21] 孙萌. 大球盖菇菌丝培养及胞外酶活性变化规律研究[D]. 延吉: 延边大学, 2013.
Sun M. Study on mycelium culture and extracellular enzyme activity of *Pleurotus ostreatus* [D]. Yanji: Yanbian University, 2013.
- [22] 陈家明, 余稳稳, 吴晖, 等. 玉米芯的营养成分分析[J]. 现代食品科技, 2012, 28(8): 1073-1075.
Chen J M, Yu W W, Wu H, *et al.* Analysis of the nutritional components of corn cobs [J]. Mod Food Sci Technol, 2012, 28(8): 1073-1075.
- [23] 郭文琴, 郭修生, 于红. 木材成分的化学利用[J]. 林业勘查设计, 1998(3): 44-45.
Guo W Q, Guo X S, Yu H. Chemical utilization of wood components [J]. For Investig Des, 1998(3): 44-45.
- [24] 王晶英. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003.
Wang J Y. Plant physiology and biochemical experiment techniques and principles [M]. Haerbin: Northeast Forestry University Press, 2003.
- [25] 王建庆, 曹佃元, 张玉. 乙酰溴法测定棉籽壳中木质素的含量[J]. 纺织学报, 2013, 34(9): 12-16.
Wang J Q, Cao D Y, Zhang Y. Acetyl bromide test method for determining amount of lignin in cottonseed coat [J]. J Text Res, 2013, 34(9): 12-16.
- [26] 杜娟, 时文静. 香菇、金针菇、黑木耳多糖的提取与测定[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 347-350.
Du J, Shi W J. Extraction and determination of polysaccharide from *Lentinus edodes*, *Flammulina velutipes* and *Auricularia auricular* [J]. Jiangsu Agric Sci, 2016, 44(8): 347-350.
- [27] 曹春梅, 闫贵龙. 食用菌提高秸秆营养价值的研究和应用[J]. 饲料广角, 2003(22): 29.
Cao C M, Yan G L. Research and application of edible fungi to improve the nutritional value of straw [J]. Feed China, 2003(22): 29.
- [28] 黄丽菁, 吴彩文, 邹春阳, 等. 木质素与酶的作用机制及其在纤维素酶水解中的影响研究进展[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(2): 142-148.
Huang L J, Wu C W, Zou C Y, *et al.* The action mechanism of lignin-enzyme and research progress of its influence on enzymatic hydrolysis [J]. J Northwest For Univ, 2021, 36(2): 142-148.
- [29] 周国英, 兰贵红, 何小燕. 食用菌多糖研究开发进展[J]. 实用预防医学, 2004, 11(1): 203-204.
Zhou G Y, Lan G H, He X Y. Research and development progress of edible fungi polysaccharide [J]. Pract Prev Med, 2004, 11(1): 203-204.

□

(编辑: 杨晓翠)