

基于稻、麦秸秆工厂化栽培双孢蘑菇的 理化性质变化研究

朱燕华,王倩,宋晓霞,张津京,黄建春

(上海市农业科学院食用菌研究所/农业部南方食用菌资源利用重点实验室/国家食用菌工程技术研究中心/
国家食用菌加工技术研发分中心/上海市农业遗传育种重点开放实验室,上海 201403)

摘要:为研究稻、麦秸秆工厂化栽培双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)的差异,以60%稻草配方和100%麦草配方的培养料为栽培基质,研究发菌料在工厂化栽培双孢蘑菇过程中的pH、电导率、含水量、灰分、碳氮含量、C/N等理化性质及木质纤维素含量的变化情况。结果表明,与100%麦草配方相比,60%稻草配方栽培双孢蘑菇的培养料电导率、灰分含量较低,而第二潮菇后的碳氮含量迅速升高。三潮菇结束后,60%稻草配方的培养料纤维素与木质素的降解率低于100%麦草配方,而半纤维素的降解率差异不大。研究初步探明了稻、麦秸秆在双孢蘑菇栽培过程中的理化性质差异,为进一步利用稻秸秆工厂化栽培双孢蘑菇提供理论依据。

关键词:双孢蘑菇;稻草;理化性质;发菌料;降解率

中图分类号:S646.9

文献标志码:A

论文编号:casb16040168

Industrial Cultivation of *Agaricus bisporus* Based on Rice Straw and Wheat Straw: Changes of Physical and Chemical Characteristics

Zhu Yanhua, Wang Qian, Song Xiaoxia, Zhang Jinjing, Huang Jianchun

(Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Edible Fungi Resources and Utilization (South), Ministry of Agriculture, P. R. China/National Engineering Research Center of Edible Fungi/National R&D Center for Edible Fungi Processing/Key Laboratory of Agricultural Genetics and Breeding of Shanghai, Shanghai 201403)

Abstract: In order to investigate the differences between industrial cultivation of *Agaricus bisporus* based on rice straw and wheat straw, physical and chemical characteristics (pH, electric conductivity, water content, ash content, carbon and nitrogen content, C/N) and lignocelluloses content of spawn running compost were investigated during the industrial cultivation of *A. bisporus* based on 60% rice straw formula and 100% wheat straw formula. The electric conductivity, ash content of 60% rice straw formula's compost were less than that of 100% wheat straw formula, but the degradation of carbon content and nitrogen content after second flush increased rapidly. Compared with 100% wheat straw formula, 60% rice straw formula mainly reduced the degradation rate of cellulose and lignin, and had little effect on the degradation rate of hemicelluloses. This study preliminarily revealed the physical and chemical characteristics differences of substrates during cultivation of button mushroom, provided the theory basis for utilizing the rice straw for industrial cultivation of *A. bisporus*.

Key words: *Agaricus bisporus*; rice straw; physical and chemical characteristics; spawn running compost; degradation rate

基金项目:公益性行业(农业)科研专项“作物秸秆基质化利用”(201503137);上海市科技兴农推广项目“基于稻秸基质的双孢蘑菇、草菇工厂化生产技术研究与应用”[沪农科推字(2014)第2-2号];上海市科学技术委员会科研计划项目“双孢蘑菇工厂化生产关键技术研究与应用”(15391900200)。

第一作者简介:朱燕华,女,1982年出生,助理研究员,博士,主要从事双孢蘑菇栽培与生理研究。通信地址:201403 上海市奉贤区金齐路 上海市农业科学院食用菌研究所, Tel:021-62200538, E-mail:zhuyanhu2007@163.com。

通讯作者:黄建春,男,1964年出生,研究员,主要从事双孢蘑菇栽培技术与示范推广。通信地址:201403 上海市奉贤区金齐路 上海市农业科学院食用菌研究所, Tel:021-37195727, E-mail:jianmushroom@163.com。

收稿日期:2016-04-27, **修回日期:**2016-06-09。

0 引言

双孢蘑菇(*A. bisporus*)是世界上栽培最广泛、消费量最大的食用菌,产量约占世界食用菌总产量的40%^[1-3]。用于栽培双孢蘑菇的培养料配方对双孢蘑菇的产量有直接影响^[4-6]。荷兰等发达国家一般采用麦草、马粪(或鸡粪)为主的粪草配方进行双孢蘑菇的工厂化高效栽培,单产可达35 kg/m²。然而国内的农作物秸秆资源分布具有地区特异性,如南方地区的稻秸秆资源丰富,2009年全国总水稻秸秆资源量约2.05亿t^[7];而北方地区的麦秸秆、玉米秸秆资源较为丰富。传统栽培模式中一般利用稻秸秆在自然条件下栽培双孢蘑菇^[8-9],单产约12 kg/m²,为工厂化栽培的50%左右^[10]。目前,国内的双孢蘑菇生产正处于由传统栽培模式向集约化、工厂化栽培的快速转型期^[11],而利用稻秸秆进行双孢蘑菇工厂化栽培的研究非常少,往往依靠技术人员的经验制定培养料配方。如何因地制宜,在南方地区科学合理地利用稻秸秆进行工厂化生产双孢蘑菇是当前亟待解决的一个技术难点。这对于降低蘑菇栽培企业的原料及运输成本、提高经济效益及当地稻秸秆资源的综合利用效率,减少由于秸秆焚烧而导致的环境污染^[12]具有积极意义。前期采用不同比例的以稻秸秆为主的配方进行工厂化栽培双孢蘑菇的试验结果表明,60%稻草配方栽培双孢蘑菇的产量为25.4 kg/m²,可达到全麦草配方栽培的90%,具有较好的双孢蘑菇工厂化生产的实际应用价值。为进一步分析60%稻草配方与全麦草配方工厂化栽培双孢蘑菇的产量差距的原因,本研究探讨了这2种双孢蘑菇培养料配方在工厂化栽培双孢蘑菇过程中的理化性质差异,以期为中国南方地区利用稻秸秆进行工厂化高产栽培双孢蘑菇提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试菌株

双孢蘑菇(*A. bisporus*)A15菌种,由美国Sylvan公司提供。

1.2 试验材料

100%麦草配方为:麦草35 t、鸡粪18 t、石膏3.5 t。60%稻草配方为:稻草23 t、麦草15 t、棉籽壳2 t、菜籽饼2 t、石膏2.5 t、碳酸钙1 t。

1.3 培养料发酵

试验地点为上海市农业科学院金山双孢蘑菇种植基地。双孢蘑菇的培养料发酵采用二次发酵工艺^[13]。全麦草配方中的麦草预湿后与鸡粪、石膏等均匀混合后,在一次发酵槽中进行发酵。60%稻草配方中的麦草提前2天进行预湿,然后再与稻草、鸡粪、石膏、棉

籽饼等均匀混合。此后每隔2~3天转仓,转仓3~4次后,完成一次发酵。将一次料运至二次发酵隧道中,进行密闭式发酵,通过调节通风量控制培养料的温度,依次经过均温、巴士消毒、空气调节及冷却阶段,测定氨气浓度低于0.005%时,即可降温完成二次发酵过程,持续时间约7天。二次料运至菇房中,播撒双孢蘑菇菌种,采用上料机将培养料放于床架上进行发菌、覆土、催蕾、出菇等栽培管理。出菇后记录每潮菇的产量。

1.4 取样时期

取样时期为栽培期的覆土前、菇蕾期、一潮菇、一潮转潮、二潮菇、二潮转潮、三潮菇,共7个不同时期。在不同床架上,随机选取5个点进行取样,每个点取培养料样品约500 g,用于培养料理化性质的测定。

1.5 理化性质测定方法

分别参照王旭明等^[14]与卫智涛^[15]的方法,称取样品10.0 g,加入100 mL去离子水,充分混匀后静置10 min,分别用PHS-3B型pH计和DDS-11A型电导率仪测定pH和电导率。

将样品烘干粉碎后,过40目筛,称取5 mg左右的样品放入样品舟中,采用multi N/C2100型分析仪(德国耶拿公司)测定样品中的碳含量。

含水量的测定参照GB/T 6435—2006;灰分采用马弗炉灼烧法^[16],氮含量的测定采用凯氏定氮法进行测定^[17]。木质纤维素含量参照文献^[18]的方法测定。

1.6 统计学分析

采用SPSS 17.0软件进行统计学分析。

2 结果与分析

2.1 2种配方的培养料栽培双孢蘑菇的产量

100%麦草配方与60%稻草配方栽培双孢蘑菇的三潮菇总产量分别为28.3、25.4 kg/m²,生物学转化效率分别为88.4%与79.4%(图1)。60%稻草配方的三潮菇产量约为全麦草配方的90%,其中60%稻草配方与100%麦草配方的一潮菇产量无显著差异,但60%稻草配方的二、三潮菇产量分别为8.5、3.7 kg/m²,均低于100%麦草配方的二、三潮菇产量。

2.2 2种配方的培养料栽培双孢蘑菇的pH与电导率变化差异

2种培养料配方的发菌料在栽培双孢蘑菇过程中的pH变化基本一致,在双孢蘑菇生长过程中差异不大,均维持在6.0~6.5。100%麦草配方的发菌料栽培双孢蘑菇过程中的电导率呈波动性变化,且在各阶段的值均高于60%稻草配方。60%稻草配方培养料的电导率总体呈先上升后下降然后再上升的变化趋势,随着

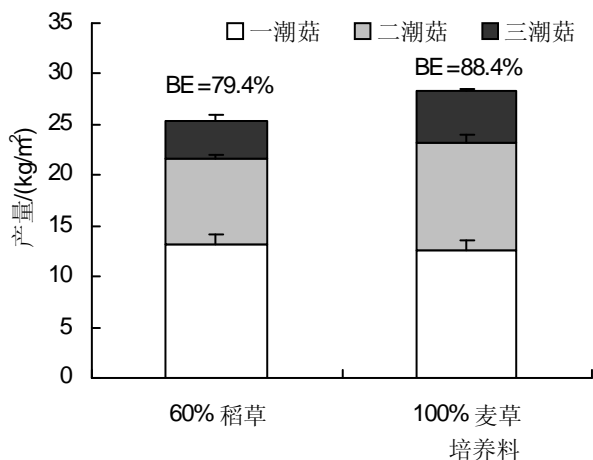


图1 2种培养料配方栽培双孢蘑菇的三潮菇产量

菇蕾及子实体的形成,60%稻草配方的培养料电导率迅速升高,在二潮菇时急剧下降,三潮菇出菇期间又再次升高(图2)。

2.3 2种配方的培养料栽培双孢蘑菇的含水量与灰分变化差异

随着双孢蘑菇子实体生长发育过程中对水分的利用及蒸发损耗,2种配方的培养料在双孢蘑菇生长阶段的含水量总体呈缓慢下降的趋势,60%稻草配方的培养料含水量略高于100%麦草配方(图3)。培养料中的灰分含量呈缓慢上升的趋势,60%稻草配方的培养料灰分含量在双孢蘑菇生长各阶段均显著低于100%麦草配方。

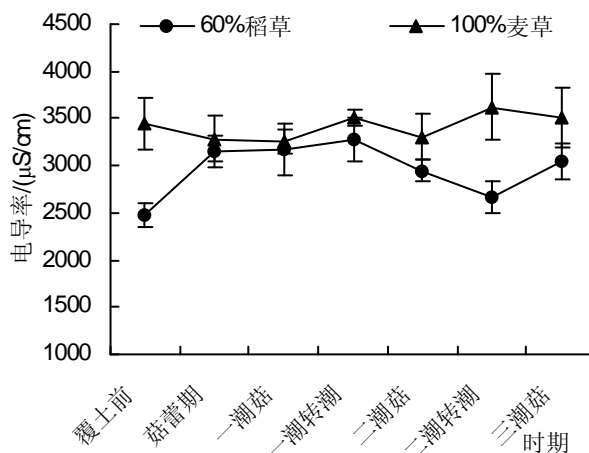
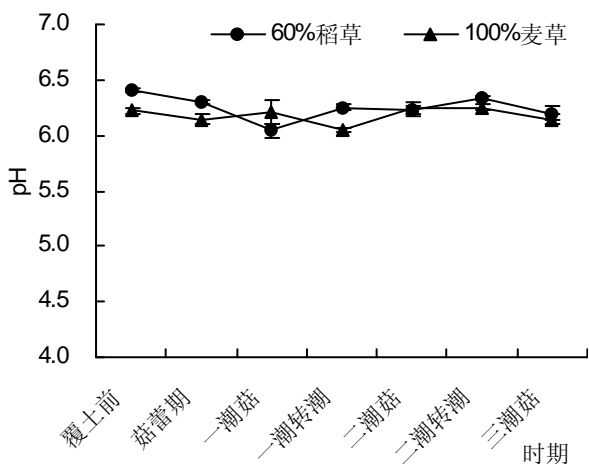


图2 2种培养料配方栽培双孢蘑菇的pH与电导率变化

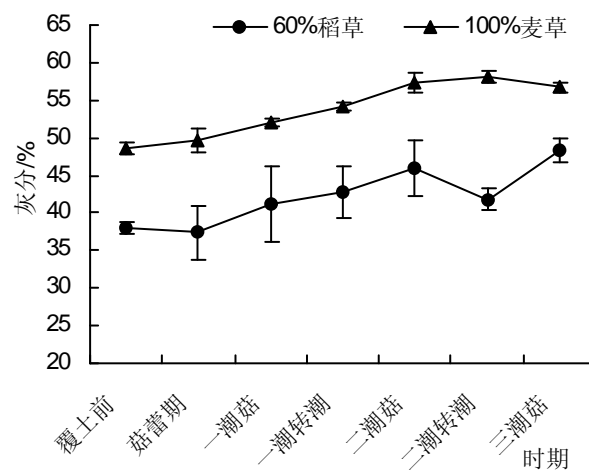
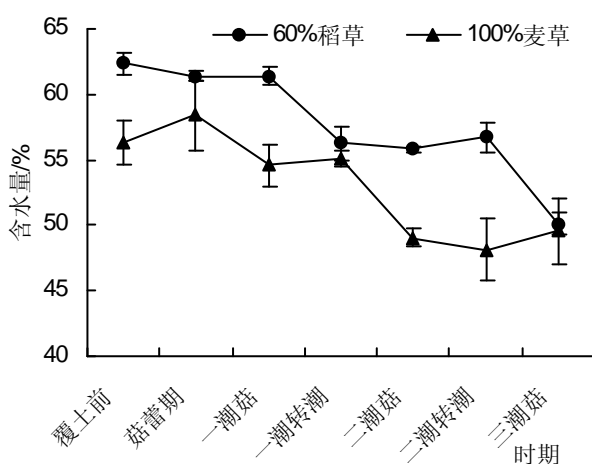


图3 2种培养料配方栽培双孢蘑菇的含水量与灰分变化

2.4 2种配方的培养料栽培双孢蘑菇的C、N含量的变化分析

随着双孢蘑菇子实体的生长发育,100%麦草配方的培养料C含量总体呈缓慢下降的趋势,N含量维持在2.0%左右;而60%稻草配方的发菌料C、N含量呈先

逐渐下降,但在二潮菇后开始升高,三潮菇出菇阶段又降低的变化趋势(图4)。随着双孢蘑菇子实体的生长发育,大量的碳水化合物被消耗,培养料的C/N也随之发生变化。100%麦草配方的C/N在双孢蘑菇子实体发育阶段逐渐下降,发菌料的碳氮比为14.2,三潮菇结

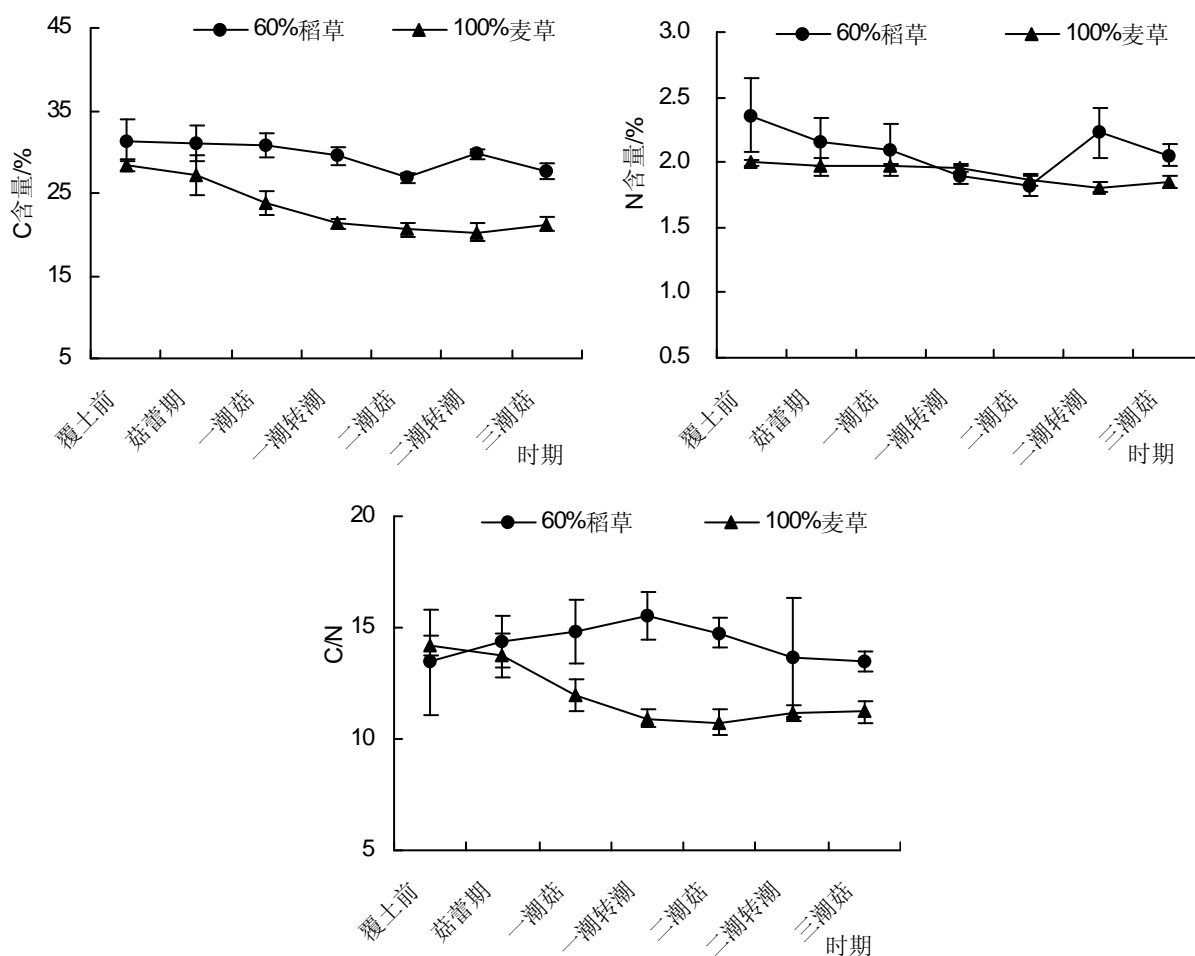


图4 2种培养料配方栽培双孢蘑菇的C、N含量的变化

束后降为 11.2; 60% 稻草配方的 C/N 在双孢蘑菇子实体发育阶段呈先升高后降低的趋势, 发菌料的 C/N 为 13.4, 在一潮菇转潮时最高(15.5), 三潮菇结束后为 13.5。

2.5 2种配方的培养料栽培双孢蘑菇对木质纤维素降解的差异

如图5所示, 100% 麦草配方发菌料中的半纤维素含量随蘑菇子实体的生长迅速下降, 三潮菇后半纤维素的降解率为 68.5%。60% 稻草配方发菌料中的半纤维素含量高于 100% 麦草配方, 覆土前到二潮菇期间, 培养料中的半纤维素含量迅速下降, 二潮菇后培养料中的半纤维素含量上升, 三潮菇出菇阶段又有所下降。三潮菇后发菌料中半纤维素的降解率为 66.0%, 表明这2种配方在双孢蘑菇栽培期培养料中的半纤维素降解利用差异不大。

100% 麦草配方培养料中的纤维素含量在菇蕾期略有上升, 表明菇蕾期双孢蘑菇菌丝对纤维素的利用较少; 随后纤维素的含量急剧下降, 三潮菇后发菌料中的纤维素降解率为 73.3%。60% 稻草配方发菌料中的

初始纤维素含量低于 100% 麦草配方, 在菇蕾期纤维素含量上升。随后的变化与双孢蘑菇子实体的生育期密切相关, 在出菇期纤维素含量下降, 而在潮次间期的含量上升, 总体呈波动式下降的变化趋势; 三潮菇后发菌料中纤维素的降解率为 54.2%, 表明 60% 稻草配方的培养料中纤维素的降解利用率较低。

2种配方的培养料中木质素含量的变化趋势较为一致, 发菌料中的木质素含量在一潮菇前迅速下降, 100% 麦草配方和 60% 稻草配方发菌料中木质素的降解率分别为 35.5%、52.0%; 2种配方培养料中的木质素含量在一潮菇后均上升, 在一潮菇转潮期达到最高, 此后逐渐下降。60% 稻草配方与 100% 麦草配方的发菌料在三潮菇后的木质素降解率分别为 54.4%、67.8%, 表明 60% 稻草配方培养料中木质素的降解利用率较低。

3 结论

试验结果表明, 2种配方工厂化栽培双孢蘑菇的产量存在差异。60% 稻草配方与 100% 麦草配方工厂化栽培双孢蘑菇的单产分别为 25.4、28.3 kg/m², 两者

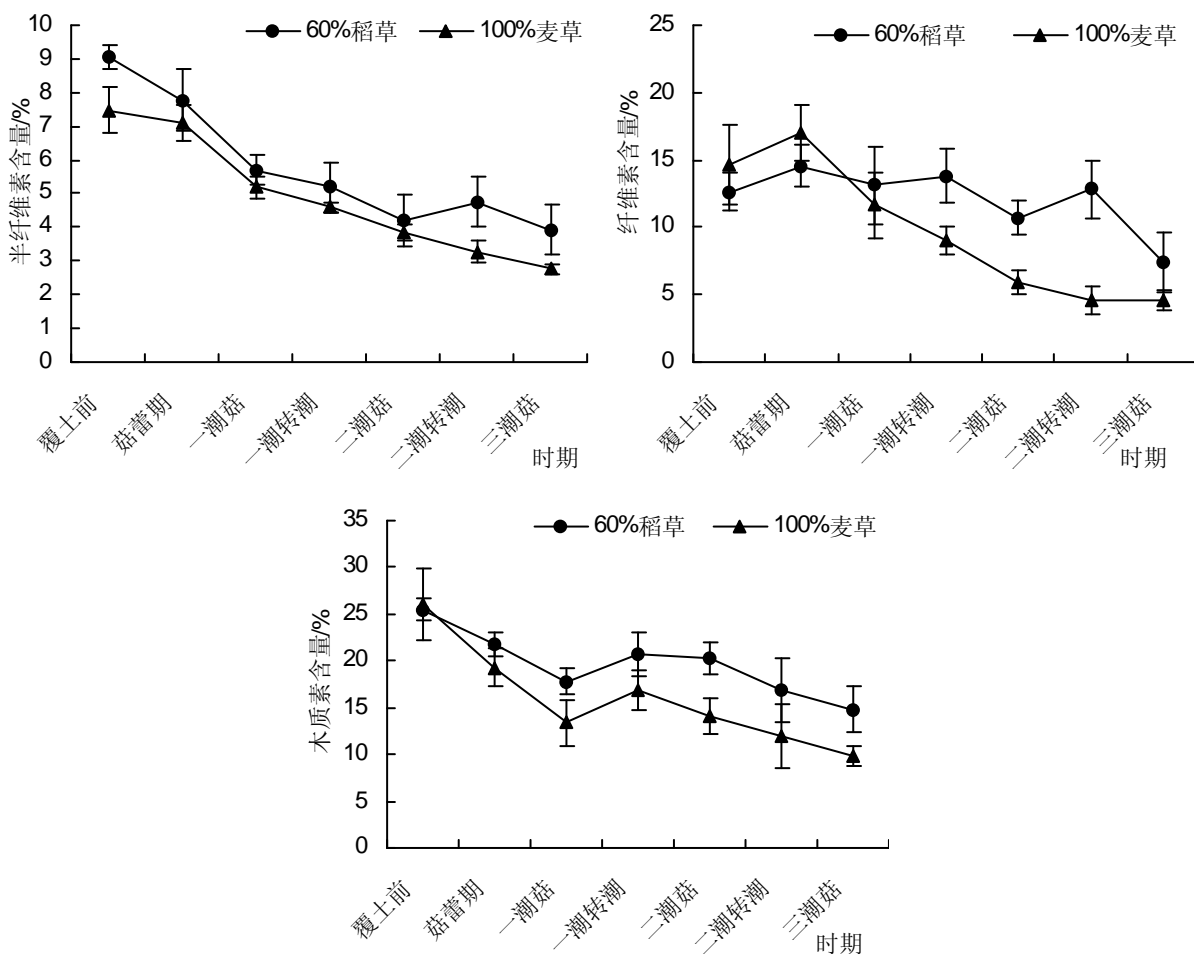


图5 2种培养料配方栽培双孢蘑菇的木质纤维素含量的变化

之间的产量差异不大。在稻秸秆资源丰富的地区可以利用稻秸秆进行双孢蘑菇的工厂化栽培。

与100%麦草配方相比,60%稻草配方的培养料在栽培过程中的电导率、灰分含量较低,而二潮菇后培养料中的碳、氮含量迅速升高,培养料的C/N在栽培过程中也相对较高。60%稻草配方中的半纤维素降解率与100%麦草配方之间差异不大,而木质素与纤维素的降解利用率相对较低。

4 讨论

据报道,可用作栽培双孢蘑菇的原材料种类较多,如麦草、稻草、玉米杆、甘草渣、废菌渣、五节芒等^[19-22],而不同的培养料原材料对双孢蘑菇产量有直接影响^[23]。本试验的研究结果也表明,60%稻草配方与100%麦草配方工厂化栽培双孢蘑菇的产量存在差异,三潮菇产量分别为25.4、28.3 kg/m²,主要的产量差距在于二、三潮菇的产量。

已有的研究表明,双孢蘑菇子实体的生长需要充足的养分,培养料中的养分随着蘑菇潮次的增加而逐渐减少,从而使双孢蘑菇产量逐渐下降^[24-25]。本试验的

研究表明,在二、三潮菇阶段的培养料中碳源等养分的降解率降低从而影响双孢蘑菇的产量。与100%麦草配方相比,60%稻草配方降低了对纤维素的降解利用率,其次为木质素,而对半纤维素的影响较小。秸秆中的木质素层包被在纤维素外面^[26],这可能是由于稻草的木质素中含有大量的苯环结构,而且其中的缩聚结构单元的比例高于麦草,导致60%稻草配方中稻草的木质素难于被降解^[27],从而降低了木质素、纤维素的降解利用率,致使双孢蘑菇产量下降。此外,存在于培养料中的有机氮一般与木质素相结合,形成一层非定形的复合体^[28],木质素的降解受到抑制也同时影响了双孢蘑菇菌丝对氮源的利用,从而使60%稻草配方发菌料中的C、N含量呈现相类似的变化规律。

此外,Kariaga^[23]用不同原材料栽培双孢蘑菇的研究表明,培养料的物理结构特别是通气性影响双孢蘑菇的产量。本研究中采用的稻草与麦草的自身物理结构存在一定差异,稻草的结构更易于板结,不利于培养料维持较好的通气性。随着双孢蘑菇子实体的生长发育,培养料的通气性逐渐下降,可能抑制了相关胞外降

解酶的分泌,从而降低了对培养料中木质素、纤维素及氮源的降解利用,导致了60%稻草配方在二、三潮菇的产量下降。因此,在利用稻秸秆进行双孢蘑菇工厂化栽培过程中,可采取措施提高稻秸秆培养料的通气性,以进一步提高产量。

参考文献

- [1] Berendsen R, Kalkhoce S, Lugones L, et al. Effects of the mushroom-volatile 1-octen-3-ol on dry bubble disease[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*,2013,97(12):5535-5543.
- [2] Kerrigan R. Global genetic resources for *Agaricus* breeding and cultivation[J]. *Canada Journal of Botany*,1995,73(1):973-979.
- [3] Giris S, Prasad S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave- vacuum and convective hot- air dried mushrooms[J]. *Journal of Food Engineering*,2007,78(2):512-521.
- [4] 侯永侠,何莉莉.不同培养料在栽培对双孢蘑菇子实体质量的影响[J].*北方园艺*,2008(5):218-219.
- [5] 李晶,林先贵,王一鸣,等.黄淮海地区利用麦秸代替稻草栽培双孢蘑菇的可行性研究[J].*食用菌*,2012(1):31-33.
- [6] 陈茜,王建立,郭亚萍,等.不同培养料配方对双孢蘑菇产量的影响[J].*中国农学通报*,2014,30(4):185-189.
- [7] 农业部科技教育司.全国农作物秸秆资源调查与评价报告[R].北京,2010.
- [8] 苏贵平.五节芒与稻草栽培双孢蘑菇对比试验[J].*食用菌*,2013(6):36-37.
- [9] Song T, Cai W, Jin Q, et al. Comparison of microbial communities and histological changes in Phase I rice straw- based *Agaricus bisporus* compost prepared using two composting methods[J]. *Scientia Horticulturae*,2014,174:96-104.
- [10] 黄建春,黄丹枫.双孢蘑菇培养料集中发酵工艺技术研究及其应用[J].*上海农业学报*,2005,21(2):53-57.
- [11] 黄建春.中国双孢蘑菇工厂化生产现状与发展的思考[J].*食用菌*,2012(2):1-3.
- [12] Rashad F M, Saleh W D, Moselhy M A. Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices[J]. *Bioresource Technology*,2010,101:5952-5960.
- [13] 朱燕华,王倩,陈明杰,等.培养料中添加豆粕对双孢蘑菇产量的影响[J].*食用菌学报*,2015,22(4):40-43.
- [14] 王旭明,倪永珍,李维炯,等.有效微生物群(EM)对饲料pH值及营养价值的影响[J].*浙江大学学报:农业与生命科学版*,2002,28(4):431-434.
- [15] 卫智涛.双孢蘑菇菌渣堆肥、肥效及细菌种群变化研究[D].湖南:中南林业科技大学,2011.
- [16] 王开强,林宏凤,郭龙文.椰子果皮粗灰分、钙、总磷的测定[J].*琼州大学学报*,2004,11(5):31-33.
- [17] 王钊,王卫平,陈建文,等.自动定氮仪测定食用菌中的蛋白质[J].*特产研究*,2005,27(4):35-37.
- [18] 王玉万,徐文玉.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].*微生物学通报*,1987,14(2):81-84.
- [19] 梁枝荣,张清文,周志强,等.应用玉米秸秆栽培双孢蘑菇新技术[J].*微生物学通报*,2000,27(6):443-446.
- [20] 李晶,林先贵,王一鸣,等.黄淮海地区利用麦秸代替稻草栽培双孢蘑菇的可行性研究[J].*食用菌*,2010(1):31-33.
- [21] 蔡志英.杏鲍菇废菌渣代替稻草栽培双孢蘑菇试验[J].*浙江食用菌*,2009,17(2):54-55.
- [22] 秦利利,吕玉梅,任文明,等.甘草渣栽培双孢蘑菇试验初报[J].*内蒙古农业科技*,2000(4):21-22.
- [23] Kariaga M G. Important factors in composting for production of high yields in button mushrooms and *Agaricus bitorquis* (Quel) Saccardo[C]. *African Crop Science Conference Proceedings*,2005,7:1273-1277.
- [24] Royse D, Sanchez J, Beelman R, et al. Re-supplementing and re-casing mushroom (*Agaricus bisporus*) compost for a second crop [J]. *World Journal of Microbiology Biotechnology*,2008,24(3):319-325.
- [25] Royse D, Sanchez J. Supplementation of first break mushroom compost with hydrolyzed protein, commercial supplements and crystalline amino acids[J]. *World Journal of Microbiology Biotechnology*,2008,24:1333-1339.
- [26] Cullen D, Kersten P J. Enzymology and Molecular Biology of Lignin Degradation. In: *The Mycota III: Biochemistry and Molecular Biology*[M]. Springer-Verlag, Berlin,2004:249-273.
- [27] 徐杰.水稻秸秆降解放线菌的分离鉴定及其降解机理研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [28] Smith J F. Factors affecting the selectivity of composts suitable for the cultivation of *Agaricus* species[D]. England: University of London,1994.