

亚热带地区全量稻秆栽培食用菌的资源化研究

申卫收¹, 陈雯雯¹, 吴红昌², 钟文辉¹

(1 南京师范大学 化学与环境科学学院, 江苏 南京 210097;
2 江西省鹰潭市余江县平定乡农业技术推广站, 江西 鹰潭 335201)

[摘要] 水稻秸秆资源化不仅可以保护生态环境, 还可以变废为宝、增加农民收入。通过比较分析整稻草畦栽平菇、凤尾菇, 稻草段熟料袋栽平菇、金针菇及生料袋栽平菇的食用菌产量和经济效益, 探索亚热带地区全量稻秆栽培食用菌实现资源化的可行性。结果表明, 袋栽、熟料栽培的食用菌产量和经济效益分别高于畦栽、生料栽培。在 5 种栽培方式中, 熟料袋栽平菇产量和经济效益最高。熟料袋栽平菇的 3 个配比中, 又以 100% 干稻草段栽培料配比的产量和经济效益最高, 分别为 1.6 kg/kg 栽培料和 4.6 元/kg 栽培料。稻草段熟料袋栽平菇菇渣分析结果表明, 随着腐熟程度加深, 总氮和总磷含量下降, 而总钾和有机物总量升高。稻草段熟料袋栽平菇示范试验表明, 530 kg 干稻草可获得约 730 kg 鲜菇, 经济效益约为 4.8 元/kg 栽培料。这些结果对亚热带地区全量稻秆栽培食用菌实现资源化具有实际指导意义, 此外菇渣还田将可能增加亚热带地区农田钾和有机质的含量。

[关键词] 全量稻秆, 平菇, 熟料, 袋栽, 菇渣

[中图分类号] Q939.96 X712 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2010)04-0093-06

Whole Rice Straws Reused for Cultivation of Edible Mushroom in Subtropical Region of China

Shen Weishou¹, Chen Wenwen¹, Wu Hongchang², Zhong Wenhui¹

(1. School of Chemistry and Environmental Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China
2. Station for Popularizing of Agricultural Technique in Pingding Township of Yujiang County, Yingtian 335201, China)

Abstract Reuse of rice straws can not only protect the eco-environment but also make waste profitable and increase the income of peasants. In order to investigate on the feasibility of cultivation of edible fungi on rice straws, the yields and economic benefits of the edible mushroom were compared among five treatments, including ridge cultivation of oyster mushroom and phoenix-tail mushroom in the raw material, bag cultivation of oyster mushroom in the raw material and oyster mushroom and needle mushroom in the clinker. The results showed that the yields and economic benefits the edible mushroom under bag cultivation or in the clinker were higher than that under ridge cultivation or in the raw material, respectively. The highest yields and economic benefits of the edible mushroom were found to be bag cultivation of oyster mushroom in the clinker among five treatments. In the treatment of bag cultivation of oyster mushroom in the clinker, there were three constituting ratios of clinker including 100% straw litter, 80% straw litter and 20% cottonseed hull and 60% straw litter and 40% cottonseed hull. The yields (1.6 kg/kg substrate) and economic benefits (4.6 Yuan/kg substrate) of the oyster mushroom were highest in constituting ratio of 100% straw litter. Mushroom residues under bag cultivation of oyster mushroom in the clinker were determined by chemical analyses after the oyster mushroom was harvested. The results showed that contents of total nitrogen and phosphorus decreased, but total potassium and organic materials increased during the decomposition of rice straws. Our demonstration experiment of bag cultivation of oyster mushroom in the clinker showed that 530 kg of straw litter produced about 730 kg of fresh mushroom, profiting 4.8 Yuan/kg substrate. These results may have the guiding sense to the practice of cultivation of edible fungi on rice straws in red soil regions. Moreover, mushroom residues returning to the field may increase the contents of total potassium and organic materials in red soil.

Key words whole rice straw, oyster mushroom, clinker, bag cultivation, mushroom residue

收稿日期: 2010-04-22
基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX1-YW-09-08)、“十一五”国家科技支撑计划重点项目 (2007BAD89B18, 2009BAD6B03)、南京师范大学“211工程”重点学科建设项目 (1843203623).
通讯联系人: 钟文辉, 博士, 教授, 研究方向: 环境微生物及生物技术. E-mail: zhongwenhui@njjn.edu.cn

农业有机废弃物的资源化已成为我国农村农业发展面临的一大难题,其中尤以农作物秸秆的资源化最为突出。我国的农作物秸秆每年产量超过 7 亿 t,秸秆组织中纤维素、半纤维素与木质素高度缠绕,致使微生物对其降解困难^[1,2]。大量的农作物秸秆被焚烧或丢弃,不仅浪费了有限的农业有机资源,还对生态环境和区域经济发展构成了严重威胁^[3,4]。农作物秸秆的资源化不仅可以消除日益严重的环境污染,而且可以保持和提高耕地土壤质量,解决农村的能源短缺问题,保护生态环境,以生物质能形式为缓解我国能源紧张做出贡献^[2]。目前,农作物秸秆资源化及开发利用的途径主要包括秸秆还田、秸秆饲料、生产沼气、压块燃料、烧制木炭、制取煤气以及作为食用菌和轻工、纺织及建材行业的宝贵原料等^[5,6]。

我国农作物秸秆以水稻秸秆为主,大约占秸秆总量的 31.6%^[3]。我国红壤丘陵区水稻秸秆产量占该区作物秸秆总产量的 53.5%,比全国均值高出 21.4 个百分点^[4]。水稻秸秆含有大量的 C、N、P、K 以及丰富的 Ca、Mg、S、Cu、Zn 等营养元素,是极为重要的有机资源,合理还田可显著提高土壤肥力和土地生产力,例如秸秆还田能改善土壤物理、化学和生物学性状,增加土壤有机质含量,培肥土壤,增加作物产量等^[7-10]。利用水稻秸秆栽培食用菌,既可以使秸秆快速腐熟,又可以实现无害化、减量化、资源化^[11]。食用菌含蛋白质 3%~4%,脂肪 0.2%~0.3%,碳水化合物 2.4%~3.8%,富含人体必需的赖氨酸,还含有丰富的 Fe、P、K、Ca 等微量元素和多种维生素及酶类等^[12]。

利用农作物秸秆栽培食用菌,不仅可以保护生态环境,还可以变废为宝、增加农民收入。有研究表明,在贵州地区成功利用水稻、小麦和玉米秸秆栽培金针菇和鸡腿菇^[13,14],筛选到栽培平菇用的小麦和胡麻秸秆^[15],不仅如此,平菇类食用菌还可以快速降解秸秆并将其转化为饲料^[16]。食用菌菇渣含蘑菇的菌丝成分,可腐解秸秆,改善秸秆品质,腐解后秸秆营养成分易于被作物吸收利用,因此蘑菇渣可作为优质有机肥料。亚热带地区农田 P、K 亏缺量大,菇渣还田将有很大的应用潜力。目前,我国利用稻秆栽培食用菌一般采用配合一定量的辅料(麸皮、牛粪、土壤等),还未能做到利用全量稻秆栽培食用菌。本研究以江西鹰潭为试验基地,探索利用全量稻秆栽培食用菌的可行性,以期做到大量地转化稻秆、获得明显的经济效益;并对菇渣化学成分进行分析,探讨菇渣用作优质有机肥的可能性,为在亚热带地区示范和推广利用全量稻秆栽培食用菌、实现稻秆的资源化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 水稻秸秆及食用菌菌种来源

食用菌栽培试验在江西省鹰潭市余江县平定乡农业技术推广站进行,新鲜水稻秸秆均来自当地。平菇(原生二号)、凤尾菇(凤尾 12)和金针菇(金白一号)菌种购自江苏省高邮市科学食用菌研究所。

1.2 整稻草生料畦栽平菇、凤尾菇

(1) 母种转管、原种及栽培种制作。

将母种接种到 PDA 固体斜面培养基,约 28℃ 下培养 7 d 将斜面上的菌丝接种到灭菌的原种培养料(96% 棉籽壳、1% 蔗糖、1.5% 石灰、1.5% 石膏,保持水分 65%,拌匀装瓶),约 28℃ 下培养 21 d 将原种培养料上的菌丝再接种到栽培种培养料(97% 棉籽壳、1.5% 石灰、1.5% 石膏,保持水分 65%,拌匀装袋),约 28℃ 下培养 28 d。

(2) 栽培。

设置 100% 稻草、80% 稻草加 20% 棉籽壳 2 个配比,每个配比 2 次重复。稻草用 0.2%~0.5% 石灰水浸泡处理 24 h 之后用清水冲洗去除表明残余石灰,晾至含水量 65%~70%。地膜(2.5 m×2 m)用 1% 高锰酸钾溶液浸泡 5 min 进行表面消毒。把经石灰水处理的稻草平铺其上,厚约 15 cm。栽培种袋表面用 1% 高锰酸钾溶液消毒,表面接种,接种量约 20% (3~3.5 kg/15 kg)。覆膜,上面打孔通气,孔距约 15 cm。菌丝生长期间不打开覆膜,不浇水。出菇后每天浇水 3~4 次,保持空气湿度 70%~80%,直至不出菇为止。菌丝生长期间,加强通风换气,每天观察菌丝生长情况,及时防止杂菌污染,特别要防虫鼠害。发菌丝期间要加强通风换气。出菇期间及时采摘鲜菇并称重。

1.3 稻草段生料袋栽平菇

母种转管、原种及栽培种制作同整稻草生料畦栽平菇、凤尾菇。栽培中设置 100% 稻草段、80% 稻草段加 20% 棉籽壳和 60% 稻草段加 40% 棉籽壳 3 个配比。将整稻草切成 3 cm 左右的稻草段,用 0.2%~0.5%

石灰水浸泡处理 24 h, 晾至含水量 65% ~ 70%。棉籽壳发酵 4~5 d 后再与浸泡好的稻草段按比例混合。分别将上述 3 个处理的栽培料按比例拌匀, 加入 1% 石灰、1% 石膏粉, 调节水分为 65% ~ 70%, 然后装入相应的筒袋 (25 cm × 50 cm, 2 μm) 中, 栽培料须装实装满。如在装袋时出现筒袋破裂现象, 需要及时修补破裂处, 防止杂菌污染。栽培种袋表面用 1% 高锰酸钾溶液消毒, 分别在两端和中间 3 层接种, 接种量为 14% ~ 15%, 接种后及时将筒袋两头用塑料带扎紧。在两头接种部位打孔加强通气性, 气孔不宜过大, 也不能超出接种部位, 一般呈双层同心圆状分布。当菌丝长满筒袋的 2/3 时, 将一端打开竖直朝上, 并覆土, 覆土厚度为 3.0 ~ 3.5 cm。菌丝生长期间, 1~2 d 观察一次菌丝生长情况, 及时防止杂菌污染。

1.4 稻草段熟料袋栽平菇、金针菇

母种转管、原种及栽培种制作同整稻草生料畦栽平菇、凤尾菇。栽培中设置 100% 稻草段、80% 稻草段加 20% 棉籽壳和 60% 稻草段加 40% 棉籽壳 3 个配比。将整稻草切成 3 cm 左右的稻草段。分别将上述 3 个处理的栽培料按比例拌匀, 加入 1% 石灰、1% 石膏粉, 调节水分为 65% ~ 70%, 然后装入相应的筒袋中, 栽培料须装实装满。将装好的筒袋在常压 100℃ 下灭菌 8~10 h, 取出冷却至常温后两头接种。栽培种袋表面用 1% 高锰酸钾溶液消毒, 接种量为 10% ~ 15%, 接种后及时将筒袋两头用塑料带扎紧。在两头接种部位打孔加强通气性。在菌丝培养阶段, 需要放置在通风处以加强通气性。当原基形成后, 将形成原基的一端打开朝上, 并将塑料袋下卷与栽培料齐平, 进行一头出菇管理, 即出菇一端竖直朝上, 另一端朝下。

1.5 菇渣化学成分分析

对食用菌产量和经济效益最高的栽培方式的菇渣进行化学分析, 包括菇渣成分的 N、P、K 含量和有机物含量^[17]。

1.6 稻草段熟料袋栽平菇示范

参照上述稻草段熟料袋栽平菇程序, 进行规模化栽培示范。使用栽培料 (干稻草) 共计 530 kg 将整稻草切成 3 cm 左右的稻草段, 加入 1% 石灰、1% 石膏粉, 调节水分为 65% ~ 70%, 然后装入相应的筒袋中, 灭菌、接种, 栽培时间从 2009 年 9 月至 2010 年 4 月。

2 结果与分析

2.1 不同栽培方式下的食用菌产量

亚热带地区水稻秸秆栽培食用菌实现资源化在当地是完全可行的。从图 1 可以看出, 5 种栽培方式下均获得了食用菌产量。由于不同食用菌生物转化效率不同, 本文使用相对产量 (kg 新鲜食用菌 / kg 栽培料) 进行比较。按相对产量从高到低, 依次为稻草段熟料袋栽平菇、稻草段生料袋栽平菇、稻草段熟料袋栽金针菇、整稻草生料畦栽凤尾菇和整稻草生料畦栽平菇。整稻草生料畦栽平菇产量以 80% 稻草加 20% 棉籽壳配比较高, 整稻草生料畦栽凤尾菇也以 80% 稻草加 20% 棉籽壳配比较高。在稻草段生料袋栽平菇方式下, 以 80% 稻草加 20% 棉籽壳配比最高, 其次为 60% 稻草加 40% 棉籽壳配比, 100% 稻草段配比最低。而在稻草段熟料袋栽平菇方式下, 以 100% 稻草段配比产量最高 (1.60 kg/kg 栽培料), 也是 5 种栽培方式下产量最高的配比, 其次为 80% 稻草加 20% 棉籽壳配比和 60% 稻草加 40% 棉籽壳配比。在稻草段熟料袋栽金针菇方式下, 以 60% 稻草加 40% 棉籽壳配比最高, 其次为 80% 稻草加 20% 棉籽壳配比和 100% 稻草段配比。

2.2 不同栽培方式下的食用菌经济效益

扣除原材料 (如稻草秸秆 0.2 元 / kg 棉籽壳 1.1 元 / kg 等)、设备、能源、人工等成本, 依据 2008 年当地食用菌价格 (4.0 元 / kg), 估算不同栽培方式下各配比的经济效益 (元 / kg 栽培料)。从图 2 可以看出, 按照经济效益从高到低, 与 5 种栽培方式下食用菌相对产量的趋势一致, 依次为稻草段熟料袋栽平菇、稻草段生料袋栽平菇、稻草段熟料袋栽金针菇、整稻草生料畦栽凤尾菇和整稻草生料畦栽平菇。然而, 扣除成本

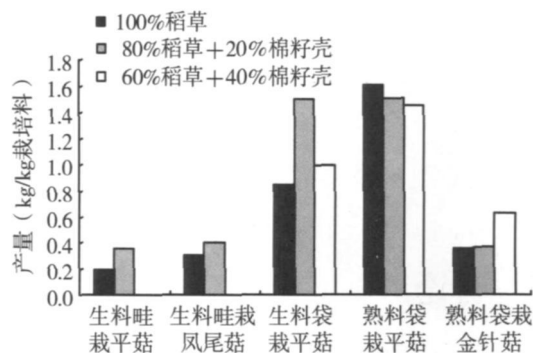


图 1 不同栽培方式下食用菌相对产量

Fig.1 The relative yields of edible mushrooms under different cultivation types

后,整稻草生料畦栽平菇与整稻草生料畦栽凤尾菇的经济效益均为负值.整稻草生料畦栽平菇的经济效益以 80% 稻草加 20% 棉籽壳配比较高,整稻草生料畦栽凤尾菇也以 80% 稻草加 20% 棉籽壳配比较高.在稻草段生料袋栽平菇方式下,以 80% 稻草加 20% 棉籽壳配比的经济效益最高,其次为 60% 稻草加 40% 棉籽壳配比,100% 稻草段配比最低.而在稻草段熟料袋栽平菇方式下,以 100% 稻草段配比的经济效益最高(4.62元/kg栽培料),也是 5 种栽培方式下经济效益最高的配比,其次为 80% 稻草加 20% 棉籽壳配比和 60% 稻草加 40% 棉籽壳配比.在稻草段熟料袋栽金针菇方式下,以 60% 稻草加 40% 棉籽壳配比的经济效益最高,其次为 100% 稻草段配比和 80% 稻草加 20% 棉籽壳配比.

2.3 栽培平菇前后水稻秸秆成分变化

稻草段熟料袋栽平菇不仅产量和经济效益高,而且稻草段熟料袋栽平菇后稻草的降解程度也较高.与未栽培平菇的湿稻草或干稻草对照比较,栽培平菇的稻草均有不同程度的分解,80% 稻草段加 20% 棉籽壳配比的稻草分解程度较低,100% 稻草段配比的稻秆分解程度较高(见图 3).如表 1 所示,菇渣中总 N、总 P、总 K 和有机物总量的分析结果表明,栽培平菇的稻草分解程度越高,总 K 含量和有机物总量也越高,总 N 和总 P 含量有所降低.

表 1 熟料袋栽平菇菇渣总 N、总 P、总 K 和总有机物含量 (Means±SE)

Table 1 Total N, P, K and organic matter contents of mushroom residues under bag cultivation of oystermushroom in the clinker

处理	总 N (g/kg)	总 P (g/kg)	总 K (g/kg)	有机物 (g/g)
湿稻草 (对照)	11.47 ±1.21	0.89 ±0.01	9.93 ±0.03	0.71 ±0.00
80% 稻草段加 20% 棉籽壳	10.85 ±0.33	0.61 ±0.01	5.01 ±0.04	0.67 ±0.00
100% 稻草段	8.98 ±0.30	0.23 ±0.00	10.96 ±0.07	0.74 ±0.00

3 讨论

我们成功地在江西鹰潭利用水稻秸秆栽培食用菌实现资源化,并推测在包括江西在内的红壤丘陵区利用水稻秸秆栽培食用菌实现资源化也是可行的.红壤丘陵区作物秸秆产量占全国作物秸秆总产量的 52.1%,水稻秸秆产量占该区作物秸秆总产量的 53.5%,比其全国均值高出 21.4 个百分点^[4].该区作物秸秆用于直接还田和用作工业原料的年均利用率高于全国平均水平,但未被利用的比例年均高达 25.3%,且呈逐年上升趋势,大量未被利用的作物秸秆往往就地丢弃或焚烧^[4].秸秆直接还田可以增加土壤有机质及 N、P、K 等养分含量,提高养分有效性,改善土壤理化性状和微生物生境,提高土地生产力^[7-10].但其适宜还田量仅为 3 000~4 500 kg/hm² (约为秸秆产量的一半)^[4,18],大量还田秸秆难以及时腐烂,影响作物的栽插质量和土壤供肥效果^[19,20];长期大面积的秸秆直接还田,还会加重一些常见的病虫害^[21].本文的研究结果表明,在 5 种食用菌栽培方式下,100% 稻草段熟料袋栽平菇的产量和经济效益均最高.江苏平菇新型栽培基质配方以中药 59%、棉籽壳 20%、稻草 20%,加入 1% 的石灰最佳,平菇相对产量为 1.30 kg/kg 栽培料,经济效益为 1.04 元/kg 栽培料^[22].秸秆替代部分棉籽壳栽培高温平菇试验表明,10 种不同配方的鲜菇产量和经济效益以棉籽壳 70%、油菜秸秆 10%、麸皮 17%、加入 3% 的石灰最佳,平

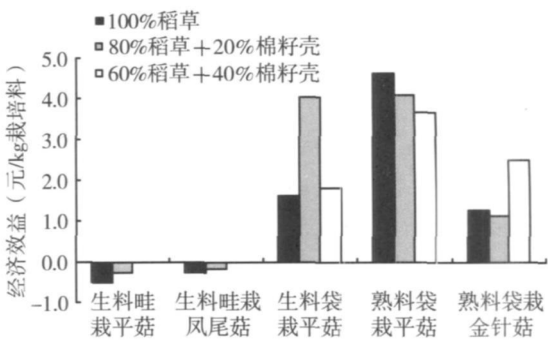


图 2 不同栽培方式下食用菌经济效益

Fig.2 The economic benefits of edible mushrooms under different cultivation types

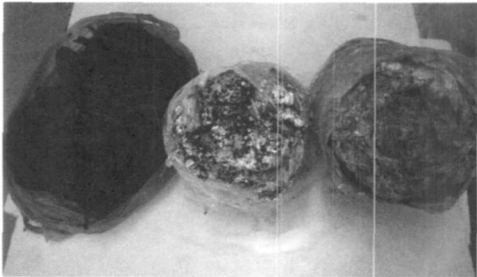


图 3 稻草段熟料袋栽平菇菇渣形态

Fig.3 Mushroom residues under bag cultivation of oyster mushroom in the clinker

菇相对产量为 1.21 kg/kg 栽培料, 经济效益为 4.43 元/kg 栽培料^[23]。本研究中全量稻秆栽培平菇的产量和经济效益均高于上述栽培基质配方。不仅如此, 全量稻秆栽培平菇的产量与当地棉籽壳栽培平菇产量相当, 由于棉籽壳成本远高于水稻秸秆, 利用全量稻秆栽培平菇的经济效益要高于棉籽壳。这意味着不仅可以利用全量稻秆种植平菇, 获得较高的产量和经济效益, 而且可以大量转化红壤丘陵区的水稻秸秆, 减少水稻秸秆的浪费, 减轻生态环境破坏, 增加农民经济收益。

在 5 种食用菌栽培方式下, 袋栽方式产量和经济效益均高于畦栽方式。袋栽方式不仅占地面积小, 仅为畦栽面积的 1/3 而且便于立体栽培、移动方便。立式立体栽培效果更佳, 卧式立体栽培存在水份流失、长菇潮数减少、菇侧式生长、菇形不佳等问题。而畦栽因长菇、采菇中需要长期打开覆膜, 更容易发生虫害(菇蝇)和造成杂菌污染, 从而影响到食用菌的产量和经济效益。本研究中畦栽方式的食用菌经济效益均为负值。此外, 熟料袋栽平菇产量和经济效益高于生料袋栽方式。熟料栽培经高温灭菌后, 栽培料更容易分解, 栽培过程中引入杂菌的可能性也较生料栽培小。而生料栽培不需要高温灭菌处理, 设备要求低, 简便易行, 便于大面积推广。但是, 生料栽培易受不良环境和气候影响, 尤其是高温季节和多年栽培的场地易导致栽培失败。稻草段袋栽平菇产量均高于其他种类的食用菌产量, 可能比较适宜于栽培该种食用菌, 如稻草段生料、熟料袋栽平菇产量和经济效益远高于稻草段熟料袋栽金针菇。探索适宜本地水稻秸秆栽培的食用菌品种, 丰富水稻秸秆栽培食用菌的种类, 延长栽培时间、保证常年供应, 特别是利用全量稻秆栽培的品种, 是值得进一步研究的内容。

东南的海南、广东、广西、江西农田 K 元素亏缺量大, 土壤缺 K 严重(占耕地面积的 75% 以上)。目前我国秸秆和有机肥中 K 素归还量在 1 000 万 t 左右, 占农田钾素投入的 60% 左右, 但全国秸秆直接还田和用于堆制有机肥的比例在 50% 以下, 因此仍然有很大的潜力, 这也是红壤丘陵区提高农田 K 素供应的有效途径。菇渣分析表明, 栽培食用菌后稻草秸秆得到了不同程度的分解, 出菇时间越长, 分解程度越高; 水稻秸秆分解程度越高, 总 K 含量和有机物总量也越高。如果将菇渣直接还田(水稻田、玉米地、花生地和果园等), 可以克服大量还田秸秆难以及时腐烂, 影响后茬作物的栽插质量和土壤供肥效果, 并且能够减轻一些常见的病虫害, 更为重要的是可以补充土壤 K 和有机质含量, 培肥土壤, 增加作物产量和改善农产品品质。菇渣与矿质元素如 N、P、K 等按一定比例混合, 制作成优质有机肥, 还可以进一步增加经济效益。全量稻秆栽培平菇示范结果显示, 530 kg 干稻草段共收获鲜菇约 730 kg 扣除成本约 1 080 元, 经济效益约为 4.8 元/kg 栽培料。总之, 熟料袋栽平菇初步取得了良好的经济效益, 已经开始在江西鹰潭地区进行推广, 初步取得了较好的示范效应, 菇渣直接还田试验(水稻田、玉米地、花生地和果园等)也在进一步开展。

[参考文献] (References)

- [1] 张晓文, 赵改宾, 杨仁全, 等. 农作物秸秆在循环经济中的综合利用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(S1): 107-109.
Zhang Xiaowen, Zhao Gaibin, Yang Renquan, et al. Comprehensive utilization of agricultural straws in recycle economy[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(S1): 107-109. (in Chinese)
- [2] 孙振钧, 孙永明. 我国农业废弃物资源化与农村生物质能源利用的现状与发展[J]. 中国农业科技导报, 2006, 8(1): 6-13.
Sun Zhenjun, Sun Yongming. Situation and development of agricultural residues as energy resource utilization in rural areas in China[J]. Review of China Agricultural Science and Technology, 2006, 8(1): 6-13. (in Chinese)
- [3] 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 Xiangzhao, Ma Wenqi, Ma Changbao, et al. Analysis on the current status of utilization of crop straw in China[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2002, 21(3): 242-247. (in Chinese)
- [4] 朱奇宏, 黄道友, 刘守龙, 等. 红壤丘陵区农作物秸秆综合利用现状与展望[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1 482-1 486.
Zhu Qihong, Huang Daoyou, Liu Shoulong, et al. Status and prospects of crop straw comprehensive utilization in hilly red soil region[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(12): 1 482-1 486. (in Chinese)
- [5] 王洪宁. 农作物秸秆资源化及开发利用途径[J]. 污染防治技术, 2009, 22(1): 33-34.
Wang Hongning. Reuse and utilization development of crop straws[J]. Pollution Control Technology, 2009, 22(1): 33-34. (in Chinese)
- [6] 崔明, 赵立欣, 田宜水, 等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 291-296.
Cui Ming, Zhao Lixin, Tian Yishui, et al. Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 291-296. (in Chinese)
- [7] 谭德水, 金继运, 黄绍文, 等. 不同种植制度下长期施钾与秸秆还田对作物产量和土壤钾素的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 1 975-1 982.

- 2007, 40(1): 133-139
- Tan Deshui, Jin Jiyun, Huang Shaowen, et al. Effect of long-term application of K fertilizer and wheat straw to soil on crop yield and soil K under different planting systems[J]. *Scientia Agricultura Sinica* 2007, 40(1): 133-139. (in Chinese)
- [8] 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 Xirong, Sun Weihong, Wang Zhen, et al. Effect of matching use of straw and chemical fertilization on soil fertility[J]. *Acta Pedologica Sinica* 2003, 40(4): 618-623. (in Chinese)
- [9] 徐国伟, 吴长付, 刘辉, 等. 麦秸还田及氮肥管理技术对水稻产量的影响[J]. *作物学报*, 2007, 33(2): 284-291.
- Xu Guowei, Wu Changfu, Liu Hui, et al. Effects of wheat residue incorporation and nitrogen management techniques on formation of the grain yield of rice[J]. *Acta Agronomica Sinica* 2007, 33(2): 284-291. (in Chinese)
- [10] 韩宾, 李增嘉, 王芸, 等. 土壤耕作及秸秆还田对冬小麦生长状况及产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(2): 48-52
- Han Bin, Li Zengjia, Wang Yun, et al. Effects of soil tillage and returning straw to soil on wheat growth status and yield[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(2): 48-52. (in Chinese)
- [11] 赵明文, 史玉英, 李玉祥, 等. 纤维分解菌群对水稻秸秆田间腐熟效果的研究[J]. *江苏农业科学*, 2000(1): 51-53
- Zhao Mingwen, Shi Yuying, Li Yuxiang, et al. Effect of cellulose decomposing bacteria population on decomposition of rice straw in fields[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences* 2000(1): 51-53. (in Chinese)
- [12] Vetter J. Chemical composition of fresh and conserved agaricus bisporus mushroom[J]. *European Food Research and Technology* 2003, 217(11): 10-12
- [13] 季林章, 陈继文, 张旭东. 农作物秸秆熟料栽培金针菇技术[J]. *安徽农学通报*, 2009(6): 155-156
- Ji Linzhang, Chen Jiwen, Zhang Xudong. Cultivation needle mushroom through crop straws in the clinker[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2009(6): 155-156. (in Chinese)
- [14] 邓功成, 陈江涛, 高礼安, 等. 农作物秸秆生料袋栽鸡腿菇高产技术[J]. *食用菌*, 2007(6): 42-43
- Deng Gongcheng, Chen Jiangtao, Gao Lian, et al. High-yielding cultivation techniques for *Coprinus comatus* used non-fermented straw[J]. *Edible Fungi* 2007(6): 42-43. (in Chinese)
- [15] 白光哲, 马瑞林, 孙立, 等. 利用农作物秸秆栽培平菇的基质筛选试验[J]. *内蒙古农业科技*, 2009(1): 56
- Bai Guangzhe, Ma Ruilin, Sun Li, et al. Substrate selection of *pleurotus ostreatus* culture with crop straw[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology* 2009(1): 56. (in Chinese)
- [16] 李野, 马丽娜, 周启星, 等. 平菇类食用菌对农作物秸秆生物降解转化饲料的研究进展[J]. *微生物学杂志*, 2009, 29(3): 87-91.
- Li Ye, Ma Lena, Zhou Qixing, et al. Advance in utilization of *pleurotus* degrading crop straw into fodder[J]. *Journal of Microbiology* 2009, 29(3): 87-91. (in Chinese)
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- Lu Rukun. *Agriculture Chemical Analysis Methods of Soil*[M]. Beijing: Chinese Agriculture Technology Press, 2000. (in Chinese)
- [18] 周江明, 徐大连, 薛才余. 稻草还田综合效益研究[J]. *中国农学通报*, 2002, 18(4): 7-10
- Zhou Jiangming, Xu Dalian, Xue Caiyu. Study of comprehensive utilization efficiency of returning rice straw to field[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2002, 18(4): 7-10. (in Chinese)
- [19] 杨佩珍, 沈金川, 张文献. 稻麦秸秆全量直接还田对产量及土壤理化性状的影响[J]. *上海农业学报*, 2003, 19(1): 53-57
- Yang Peizhen, Shen Jinchuan, Zhang Wenxian. Effects of the straw of rice and wheat return to field wholly and directly on the crop yields and the physical and chemical properties of soil[J]. *Acta Agrariae Shanghai* 2003, 19(1): 53-57. (in Chinese)
- [20] 钱宏兵, 韩春贵, 钱存进, 等. 稻麦秸秆直接还田技术的研究[J]. *土壤肥料*, 1998(2): 26-28
- Qian Hongbing, Han Chungui, Qian Cunjin, et al. Technology for wheat straw return to field directly[J]. *Soils and Fertilizers* 1998(2): 26-28. (in Chinese)
- [21] 王振忠, 李庆康, 吴敬民, 等. 稻麦秸秆全量直接还田技术对土壤的培肥效应[J]. *江苏农业科学*, 2000(4): 47-49
- Wang Zhenzhong, Li Qingkang, Wu Jingmin, et al. Effects of direct return of whole rice or wheat straws to fields on fertilizing soils[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences* 2000(4): 47-49. (in Chinese)
- [22] 蔡璐莎, 唐懋华, 芮山亚, 等. 平菇新型栽培基质研究[J]. *中国食用菌*, 2009, 28(5): 24-25
- Cai Lusha, Tang Maohua, Rui Shanya, et al. Study on new substrate for cultivating *Pleurotus ostreatus*[J]. *Edible Fungi of China* 2009, 28(5): 24-25. (in Chinese)
- [23] 赵艳, 李云峰, 侯笛鸣, 等. 秸秆替代部分棉籽壳栽培高温平菇试验[J]. *食用菌*, 2005(6): 28-29
- Zhao Yan, Li Yunfeng, Hou Diming, et al. Cultivation *agaricus bisporus* through crop straw to substitute for part cottonseed hull[J]. *Edible Fungi* 2005(6): 28-29. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]