

农田秸秆菌业 与循环利用技术研究

Researches on the technology for Agricultural
Straw-supporting edible fungi Industry and Resource
Recycling Utilization

主 编 翁伯琦
副主编 黄勤楼 黄毅斌
廖剑华 罗 涛



海峡出版发行集团 | 福建科学技术出版社
THE STRAITS PUBLISHING & DISTRIBUTING GROUP | FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

“十一五”国家科技支撑计划项目（编号2007BAD89B00）

“东南地区农田秸秆菌业循环生产技术集成研究与示范”（编号2007BAD89B13）

农田秸秆菌业 与循环利用技术研究

Researches on the technology for Agricultural
Straw-supporting edible fungi Industry and Resource
Recycling Utilization

主 编 翁伯琦
副主编 黄勤楼 黄毅斌
廖剑华 罗 涛

本书编委会

主 任：翁伯琦
副主任：王泽生 黄毅斌
委 员：黄勤楼 廖剑华 罗 涛 陈君琛 胡清秀
林衍铨 江枝和 林代炎 曾 辉 陈钟佃
黄秀声 雷锦桂 钟珍梅 王煌平



海峡出版发行集团 | 福建科学技术出版社
THE STRAITS PUBLISHING & DISTRIBUTING GROUP | FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

农田秸秆菌业与循环利用技术研究/翁伯琦主编. —福州: 福建科学技术出版社, 2010. 8

ISBN 978-7-5335-3720-3

I. ①农… II. ①翁… III. ①秸秆—综合利用—文集
IV. ①S38-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 149566 号

书 名	农田秸秆菌业与循环利用技术研究
主 编	翁伯琦
副 主 编	黄勤楼 黄毅斌 廖剑华 罗涛
出版发行	海峡出版发行集团 福建科学技术出版社
社 址	福州市东水路 76 号 (邮编 350001)
网 址	www.fjstp.com
经 销	福建新华发行 (集团) 有限责任公司
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福州晚报印刷厂
开 本	889 毫米×1194 毫米 1/16
印 张	21.75
字 数	660 千字
版 次	2010 年 8 月第 1 版
印 次	2010 年 8 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5335-3720-3
定 价	84.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

资源是人类赖以生存的物质基础，农业生物资源的合理利用是经济与社会可持续发展的保障条件，构建资源节约型、环境友好型和生态文明型现代化社会是国家发展的长期战略目标。基于食用菌产业的迅猛发展和木料资源的相对短缺，以及食用菌在循环农业中起到承前启后的重要作用，人们必然要考虑如何高效利用农作物秸秆，进行食用菌生产和资源循环利用，尤其是我国东南沿海地区，作物种类多，复种指数高，加上区域内畜牧业较为发达，大量秸秆与畜牧废弃物的开发利用，不仅有明显的经济效益，而且有巨大的社会生态效益。本书为“十一五”国家科技支撑计划项目“农田循环高效生产模式关键技术与集成示范”课题之“东南地区农田秸秆菌业循环生产技术集成研究与示范”(2007BAD89B13)的阶段性研究进展与成果。

本课题以研究秸秆循环再利用的关键接口技术为突破口，通过“科研单位—企业—农户”密切合作，实现技术集成创新，建设核心区与综合示范基地，以点带面促进大面积推广应用，带动产业升级与实现农民增收。围绕秸秆栽培食用菌标准化技术与专用配方优化、规模化栽培工艺简化与无公害高效栽培技术、菌渣等废弃物循环利用技术与合理开发模式3个方面突出的问题，通过设立7个关键接口技术和5个集成技术研究，形成有效链接的技术集成模式，同时依托2个肥料加工企业对菌渣肥进行中试生产，建立2个长期定位观测站点、5个示范核心区和若干个示范推广片。就具体运作而言，课题组是以秸秆高效循环利用为核心研究内容，稻草栽培食用菌优化模式以及菌渣循环利用为重要环节，重点突破以稻草为主要原料的草生食用菌无公害标准化生产技术、食用菌菌渣循环利用技术、食用菌规范化栽培技术和菌渣(肥)返田回园的集成研究与示范，做到技术创新与集成应用有机结合，实现上述攻关目标，以求促进农业资源高效循环利用，带动福建省乃至我国东南食用菌生产技术的转型升级，提高食用菌产品的竞争力，提高农民收入和企业生产效益。

在课题实施过程中，为促进秸秆菌业技术与农业生物资源研究领域学术交流，福建省农业科学院参与课题研究的4个相关创新团队共同组织召开了两次年度课题进展汇报与学术研讨会，深入探讨与交流符合中国国情的秸秆菌业技

术与农业生物资源合理循环利用发展战略、发展途径及其配套技术，总结科技成果与实践经验，拓展研究领域。会议曾先后收到本课题组成员论文 70 余篇，来稿从不同角度反映了我国特别是东南地区农田秸秆菌业技术与资源循环利用领域的有关研究、开发和应用现状。本书从中选取相关论文 60 篇，汇编成册，以便提交项目组各课题间交流。旨在与同行交流，互相学习，共同提高。编委会根据论文的研究方向，将本书分为秸秆菌业与发展战略、生产模式与技术集成、生物资源与循环利用、物质转化与能值分析、基础研究与加工技术等 5 个部分，并对各领域的国内外研究进展和发展趋势等进行了概括和总结，以便业内人士更好地了解该领域的发展现状和新近动态。

本书中有部分论文已经发表，汇编时作了标注。对入选的论文，编委会对论文格式进行编辑加工，未对论文进行实质性改动。由于编者水平有限和编辑时间仓促，在编辑过程中错误和不妥之处在所难免，敬请读者谅解并提出宝贵意见。

本书在编辑和出版过程中得到了多位专家学者的关心和指导，以及各论文作者的配合与支持；《福建农业学报》主编翁志辉、《福建农业科技》主编杨小萍、《福建畜牧兽医》原主编朱云林和福建省农业科学院农业经济与科技信息研究所的林其水、林琼、郑芳梅、王其芳等做了大量编辑工作。在此，向所有关心和支持本书编辑出版的专家学者和论文作者表示衷心的感谢，并致以崇高的敬意！

编 者

2010 年 3 月 30 日

目 录

第一章 秸秆菌业与发展战略

基于循环经济的秸秆菌业发展模式与集成技术研究 I: “东南地区农田秸秆菌业循环技术集成研究与示范” 课题研究进展综述	翁伯琦 (2)
基于循环经济的秸秆菌业发展模式与集成技术研究 II: 从农田秸秆菌业循环利用模式运作思考低碳农业发展对策	翁伯琦等 (15)
基于循环经济的低碳农业发展模式与对策思考	翁伯琦等 (22)
福建省农作物秸秆资源现状及综合利用对策	王煌平等 (31)
试论作物秸秆开发与低碳农业发展	王煌平等 (39)
福建食用菌业发展循环经济的实践与探索	林衍铨等 (48)
当前食用菌制种研究概况及发展趋势分析	戴建清等 (51)
食用菌生物降解木质素的研究现状	李燕荣等 (55)

第二章 生产模式与技术集成

东南地区农田秸秆菌业现状分析及研究进展	翁伯琦等 (62)
东南地区农田秸秆菌业循环利用技术体系构建与应用前景	翁伯琦等 (68)
双孢蘑菇遗传多样性的 DNA 指纹分析	王泽生等 (73)
外源硒对巴西蘑菇子实体数量和形态特征的影响	翁伯琦等 (78)
添加外源镧条件下姬松茸子实体形态的电镜观察	翁伯琦等 (84)
添加外源镧条件下姬松茸中维生素的相关性及主成分分析	吴少风等 (90)
添加外源镧条件下姬松茸中脂肪酸的相关性及主成分分析	翁伯琦等 (95)
谷壳作代用料对金针菇生长发育及产量的影响	林衍铨等 (100)
培养基质配方对姬松茸子实体产量和氨基酸、有害物质含量的影响	林衍铨等 (104)
食用菌废菌渣的综合利用 (英文)	曾辉等 (108)
食用菌栽培废料处理与利用的研究及发展趋势	程翊 (123)
双孢蘑菇安全高效的栽培技术要点	卢政辉 (128)
双孢蘑菇高效生产模式研究进展	廖剑华等 (131)
蘑菇菌渣回田对水稻产量及土壤肥力影响初报	黄秀声等 (138)
菌渣施用对土壤活性有机碳的影响	王峰等 (143)
木质纤维素降解复合菌系对蘑菇基质低温腐解质量的影响	王洪媛等 (150)

第三章 生物资源与循环利用

亚热带发达地区农业废弃物利用现状与思考	黄勤楼等 (157)
发展农田秸秆菌业的技术集成与资源循环利用管理对策	翁伯琦等 (165)
区域特色肉牛规模养殖循环经济模式及关键技术研究	黄秀声等 (170)
规模化猪场牧草治污及高效循环利用技术	黄秀声等 (176)
蔬菜地污染因子分析及其降污肥的应用效果研究	罗涛等 (185)
有机物料的不同配比对挤压法生产复混肥的影响	王飞等 (191)
脲酶硝化抑制剂对农田环境的研究进展	王煌平等 (194)

改良剂对镉锌污染黄泥土的修复效果及评价	张青等 (204)
施用菌渣对有机茶和土壤养分含量的影响	张青等 (210)
蔬菜安全生产的氮肥施用量研究	罗涛等 (215)
食用菌菌渣堆肥化 促进秸秆菌业良性循环	管道平等 (221)

第四章 物质转化与能值分析

以牧草种植为纽带的循环农业示范区能值分析	钟珍梅等 (226)
规模化牛场“肉牛—沼气—牧草”循环农业模式能值分析	钟珍梅等 (232)
硒镧复合作用对巴西蘑菇子实体形态和数量特征的影响	江枝和等 (238)
添加外源镧条件下姬松茸中蛋白质营养价值效应的主成分分析	雷锦桂等 (245)
规模化养猪场粪污循环利用技术集成与模式构建研究	林代炎等 (250)
不同沼液施用量下象草养分利用效率和土壤养分含量的变化	吴飞龙等 (256)
规模化养猪场粪便堆肥利用技术研究	林代炎等 (262)

第五章 基础研究与加工技术

双孢蘑菇耐热相关基因的表达载体构建及转化研究	陈美元等 (269)
草生食用菌对稻草细胞壁的降解特点与利用	沈恒胜等 (274)
不同栽培基质对大球盖菇产量与营养品质的影响	陈君琛等 (278)
菌糠营养成分分析及其对大球盖菇菌丝生长的影响	李怡彬等 (281)
菌草工厂化栽培杏鲍菇研究	林兴生等 (285)
利用白金针菇菌糠生料栽培鸡腿蘑研究	余应瑞等 (287)
谷壳栽培竹荪技术	余应瑞等 (289)
镉在姬松茸生长过程的迁移积累研究	林衍铨 (291)
姬松茸绿色食品标准栽培初步研究	林衍铨 (294)
工厂化生产双孢蘑菇栽培种关键工艺研究	曾辉 (298)
食用菌无菌透气袋国产化研制报告	戴建清 (304)
巴西蘑菇固体发酵对麦麸不溶性膳食纤维物理特性的影响	汤葆莎等 (308)
豆秆作代用料对杏鲍菇生长发育及品质的影响	林衍铨等 (312)
不同培养基栽培白金针菇试验	余应瑞等 (316)
透气大塑料袋蘑菇栽培种冷藏工艺关键点初探	戴建清 (319)
草生食用菌生物活性成分与产品精深加工应用前景	陈君琛等 (325)
高效秸秆纤维素降解菌的筛选与降解效果研究	王洪媛等 (329)
几种蘑菇菌株对稻草降解能力的研究	李燕荣等 (336)

第一章

秸秆菌业与发展战略

基于循环经济的秸秆菌业发展模式与集成技术研究

I. “东南地区农田秸秆菌业循环技术集成研究与示范”课题研究进展综述

翁伯琦

(福建省农业科学院, 福建 福州 350003)

摘 要: 依据循环农业发展的原则和要求, 针对东南地区秸秆菌业的发展现状与主要难点, 提出五项循环农业与秸秆菌业的集成模式, 并综述了“东南地区农田秸秆菌业循环技术集成研究与示范”课题实施以来的技术集成及研究进展情况, 在此基础上提出进一步发展东南地区农田秸秆菌业的技术对策思考与深化拓展下一步计划实施的设想及建议。

关键词: 循环农业; 食用菌; 秸秆; 模式

Straw-edible Fungi Industry Development Model and Integration Technology Based on The Theory of Circular Economy

I. Research Review for “Cycle Technology Integration Research and Demonstration of Farmland Straw-edible Fungi Industry in Southeast China”

WENG Bo-qi

(Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350003, China)

Abstract: Based on the principles and requirements of cycle agriculture development, the article analyzed the status, main difficulties, main mode of cycle agricultural and Straw-edible Fungi Industry in Straw-edible Fungi Industry development of Southeast. and reviewed the technology integration and research progress since the implementation of the subject " Cycle Technology Integration Research and Demonstration of Farmland Straw-edible Fungi Industry in Southeast China". On this basis, Putting forward the idea and making suggesrions for technical countermeasures of developing the farmland straw-edible fungi industry and deepening the expansion of low-carbon agriculture in southeast China.

Key words: Cycle Agriculture; edible fungi; straw; mode

农业发展如何实现经济与生态效益的双赢目标? 怎样提高资源与利用过程的综合效益? 其关键环节在于农业生产的高优化, 废弃物质的再循环化, 综合开发的生态化。随着农业的发展, 废弃物不仅数量逐步攀升, 而且品种五花八门, 如各种作物秸秆、畜禽粪便、果枝果壳等, 要切实有效消纳量大面广的农业废弃物是现时期科研攻关的重要方向之一。专家们提出把农业循环经济视为遏制农业污染, 提高农业资源有效利用等一系列机制创新的观点^[1]。根据循环农业的“4R”原则(减量化、再循环、再利用、可控化)^[2], 通过废弃物循环利用, 延长产业链, 增加综合效益, 从而达到节约资源与提高效率的目的。我国是个农业大国, 每年有大量的农业秸秆产出并被丢弃, 利用率很低。为此, 如何有效防控农业污染, 如何解决农业废弃物资源化开发, 这一直是人们关注的热点。我国著名食用菌专家杨新美教授提出“食用菌业、种植业及养殖业为当今农业生产中的三大产业”, 是大农业的3个有机组成部分, 三者互补互促, 相得益彰^[3]。东南地区农村具有利用秸秆生产食用菌的传统, 为此通过循环经济理论的切实应用, 结合东南区域农业生产实际, 深入研究农田秸秆菌业循环技术, 切情构建高效循环利用模式, 提升农用秸秆菌业高优水平, 其重大意义是不言而喻的, 其应用前景是十分广阔的。

作者简介: 翁伯琦(1957—), 男, 研究员, 主要从事土壤肥料与生态农业技术研究(E-mail: boqiwen@yahoo.com.cn)

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目课题“东南地区农田秸秆菌业循环生产技术集成研究与示范”(2007BAD89B13)

2008年本课题全面实施以来,课题组按照项目任务书的要求,围绕区域农业秸秆资源利用现状分析与对策研究、秸秆优化堆制与发酵技术研究及示范、菌渣循环利用对农田承载力与生态环境影响研究等7个关键接口技术以及双孢蘑菇无公害优质高效生产、姬松茸无公害优质高效生产、草菇等草腐生食用菌无公害标准化生产、优质高效菌渣专用肥研制与合理施肥、菌渣循环利用农田承载力与生态环境监测5项技术集成展开研究,取得了明显的进展和成效。

1 东南区域农作物秸秆与畜牧业废弃物资源调查及分析

发展和建设东南地区农田秸秆菌业生产体系,其目的是依据循环农业的原则,通过相关技术的研究与优化,从而提高农业废弃物(秸秆、畜禽粪便等)的利用率,为此对东南地区农业废弃物的现状分析是该体系建设的基本要求。

——作物秸秆资源分析。翁伯琦、罗涛、黄勤楼、王煌平等调查分析了我国及东南地区主要省份的秸秆、畜禽废弃物现状^[4-5]。据测算,2007年我国主要作物秸秆和部分农副产品总量为8.33亿t,其中上海、江苏、浙江、福建和广东为0.78亿t,占全国总量的9.36%,仅稻秆、小麦秆、玉米秆和豆秆年产量达到0.59亿t,占全国总量的9.15%,而福建省秸秆总量占东南沿海地区(4省1市)总量的9.91%(表1)。将农业秸秆转换成养分含量^[6,7],上海、江苏、浙江、福建和广东4省1市年产秸秆和部分农副产品折算成养分后含氮(N)62.8万t、磷(P_2O_5)15.7万t、钾(K_2O)102.1万t(表2),这是一笔巨大的资源,有待于开发。

表1 2007年全国及东南沿海地区主要作物秸秆和部分农副产品总量 (万t)

Table 1 The total of national and southeast coastal areas' main crop straw and some agricultural products in 2007

地区	稻秆	小麦秆	玉米秆	豆秆	薯蔓	棉秆	花生蔓	油菜秆	麻秆	甘蔗尾叶	烟秆	总量
全国	18603.0	12023.0	30460.0	3440.0	2807.8	2287.2	1302.7	111.4	257.0	11295.1	718.5	83305.7
上海	86.0	16.1	5.0	4.2	0.3	0.9	0.3	—	—	1.0	—	113.8
江苏	1761.1	1071.2	394.6	163.2	42.2	104.4	33.8	3.6	0.8	6.6	—	3581.5
浙江	636.9	20.2	20.0	56.4	21.9	7.8	3.6	1.2	1.4	57.4	0.9	827.7
福建	501.0	1.7	23.6	30.8	104.1	0.3	21.9	0.2	0.2	56.4	37.5	777.7
广东	1046.1	0.3	59.2	17.6	157.4	—	76.7	0.9	0.3	1180.7	4.9	2544.1

注:数据来源于《2008年中国统计年鉴》和不同作物的收获指数折算值。

表2 2007年全国及东南沿海地区年主要作物秸秆养分含量 (万t)

Table 2 Nutrient content of staple crops straw of national and the southeast coastal areas in 2007

地区	N	P_2O_5	K_2O
全国	666.00	167.000	1080.00
上海	0.91	0.228	1.48
江苏	28.70	7.160	46.60
浙江	6.62	1.660	10.80
福建	6.22	1.560	10.10
广东	20.40	5.090	33.10

注:数据根据《2008年中国统计年鉴》和不同作物养分含量折算值。

——畜牧粪便资源分析。从畜禽废弃物产量分析,5个省市的牛粪产出量较低,为 2.83×10^7 万t,仅占全国畜禽废弃物总量的2.87%;猪粪产出量相对较高, 23.26×10^7 万t,占全国畜禽废弃物总量的15.41%左右。福建省畜禽废弃物中的牛粪总量占东南沿海地区牛粪总量的17.86%,仅次于广东省,而其猪粪总量占东南沿海地区猪粪总量的18.96%,低于广东、江苏,略高于浙江省。

表3 2007年全国及东南沿海地区年牛、猪饲养量和粪便产量

Table 3 The raising amount and faeces production of national and southeast coastal areas cattle and pigs in 2007

地区	全国	上海	江苏	浙江	福建	广东
牛饲养数(头)	1.23×10^8	7.5×10^4	3.33×10^5	2.07×10^5	6.31×10^5	2.22×10^6
猪饲养数(只)	1.0×10^9	3.28×10^6	4.05×10^7	2.70×10^7	2.94×10^7	5.49×10^7
牛产粪量(t)	9.85×10^8	6.0×10^5	3.26×10^6	1.66×10^6	5.05×10^6	1.77×10^7
猪产粪量(t)	1.51×10^9	4.92×10^6	6.08×10^7	4.05×10^7	4.41×10^7	8.23×10^7

注:数据根据《2008年中国统计年鉴》和动物年排泄量估算而得。

经调查发现,由于农业废弃物、利用技术落后、缺乏相关扶持政策等,造成秸秆、畜禽粪便的利用率偏低。发展食用菌产业是利用农业废弃物的最佳途径,且可同时对多种农业废弃物(秸秆、粪便)加以利用,为此发展农田秸秆菌业是发展循环农业的重要方向,其可使种植业、养殖业、菌业等相得益彰,前景广阔,意义深远。

2 双孢蘑菇无公害优质高效生产集成技术与进展

——广泛征集种质资源。福建省农业科学院食用菌所的科研团队已着手种质资源征集工作,先后多次赴西藏、四川、甘肃、青海、宁夏等尚未栽培双孢蘑菇且生态环境保持良好的地区进行野生双孢蘑菇种质资源调查及野外菌株征集,共采集分离到210多株野外菌株,其中有61株经形态和同工酶等初步鉴定为中国野生双孢蘑菇菌株,建立起中国野生双孢蘑菇种质资源库。当前,已收集的双孢蘑菇栽培菌株206个及国外野生双孢蘑菇菌株168个,菌株总量位居国内第一、世界第三。

——筛选培育优良菌株。建立了种质资源库后,王泽生、陈美元等对收集到的种质资源作相关菌株的DNA指纹分析、子实体颜色遗传规律的研究、耐热相关基因的克隆与转化、菌株的栽培、野生菌株和传统菌株杂交等研究,筛选出1株高产优质的杂交新菌株W192^[8]。经对比试验,W192蘑菇平均单产 13.78 kg/m^2 ,AS2796平均单产 11.29 kg/m^2 ;W192菌株比对照菌株AS2796增产幅度为22%左右。

——改进菌种生产技术。国际上已普遍采用透气袋进行蘑菇等食用菌栽培种的工厂化生产,其可降低单位重量栽培种的包装成本。戴建清、廖剑华等采用国产的各种规格黏性透气膜和塑料袋进行栽培种的制作工艺试验,并开发出“罐叠袋法”新工艺制作透气袋原种,及透气袋菌种低温冷藏工艺,取得了初步成效。该工艺有望打破进口透气袋高成本瓶颈,单个透气袋成本可从2.5元降到0.5元以下,解决了纯净度问题,同时简便易行^[9-11]。

——研发堆料发酵技术。中国农业科学院的胡清秀等对以双孢蘑菇为代表的草生菌,利用农业秸秆发酵过程中的理化性质、碳氮养分的转化、腐熟度、微生物区系变化展开了研究,为研制高效利用秸秆的培养料配方取得一系列试验参数。廖剑华等开展了双孢蘑菇栽培料的隧道发酵工艺探索,研究发现隧道式一次发酵通过强制通风,增加了培养料的氧气量,排除微生物发酵产生的废气,微生物活动能力增强,物质转化效率提高,堆料温度比常规室外发酵提高 10°C 以上,酸碱度基本保持在7.5以上,含水量可以提高到70%以上,发酵结束后培养料比较疏松,持水力高,带有浓烈的氨味,发酵均匀。

二次发酵时,通过控温、控湿、控氧等措施创造最佳条件,培养出特定的微生物群落以分解堆肥,使其特别适合蘑菇菌丝生长的最佳营养状态和生态环境,使氨离子降低到最低限度,质地紧密,含水量

70%~73%。

表 4 61 株中国野生双孢蘑菇及部分对照菌株栽培及生物学特性

Table 4 Cultivation and biological characteristics of 61 China's wild *Agaricus bisporus* and some of the CK fungus

栽培编号	菌号	采集地点	形态特征	栽培编号	菌号	采集地点	形态特征
1	Ag781316	西藏拉萨市	褐色	35	Ag710122	四川红原	黄白色
2	Ag781315	西藏拉萨市	褐色	36	AgNQH7911	西藏那曲	褐色
3	Ag7821	西藏拉萨市	褐色	37	AgNQH7912	西藏那曲	褐色
4	Ag783311	西藏拉萨市	褐色	38	AgNQH7932	西藏那曲	褐色
5	Ag78331	西藏拉萨市	褐色	39	AgNQH7941	西藏那曲	褐色
6	Ag78338	西藏拉萨市	褐色	40	AgNQH7951	西藏那曲	褐色
7	Ag78317	西藏拉萨市	褐色	41	AgNQH7961	西藏那曲	褐色
8	Ag78335	西藏拉萨市	褐色	42	AgLH830	四川	棕色
9	Ag78334	西藏拉萨市	褐色	43	AgLH831	四川	棕色
10	Ag78332	西藏拉萨市	褐色	44	AgLH832	四川	棕色
11	Ag78336	西藏拉萨市	褐色	45	AgLH833	四川	棕色
12	Ag781310	西藏拉萨市	褐色	46	AgLH834	四川	棕色
13	Ag78139	西藏拉萨市	褐色	47	AgLQ823	甘肃	棕色
14	Ag781317	西藏拉萨市	褐色	48	AgLQ824	甘肃	棕色
15	Ag78132	西藏拉萨市	褐色	49	AgLQ825	甘肃	棕色
16	Ag78131	西藏拉萨市	褐色	50	AgLQ826	甘肃	棕色
17	Ag781313	西藏拉萨市	褐色	51	AgLQ829	甘肃	棕色
18	Ag781314	西藏拉萨市	褐色	52	AgQL814	青海	棕色
19	Ag781314	西藏拉萨市	褐色	53	AgQL8102	青海	棕色
20	Ag78135	西藏拉萨市	褐色	54	AgQL8113	青海	棕色
21	Ag781312	西藏拉萨市	褐色	55	AgQL8124	青海	棕色
22	AgNQ79111	西藏那曲	黄白色	56	AgQL8125	青海	棕色
23	AgNQ79121	西藏那曲	黄白色	57	AgX04	西藏	白色
24	AgNQ79131	西藏那曲	黄白色	58	A00051421	宁夏	白色
25	AgNQ79131	西藏那曲	黄白色	59	A00051145	贵州	白色
26	AgNQ7981	西藏那曲	黄白色	60	新疆野生	新疆	白色
27	AgLQ982	西藏那曲	褐色	61	Ag4-3	西藏	白色
28	AgLQ961	西藏那曲	褐色	62	ARP117	美国	棕色
29	AgLQ962	西藏那曲	褐色	63	ARP143	美国	棕色
30	AgLQ951	西藏那曲	褐色	64	ARP145	美国	棕色
31	Ag71011	四川红原	褐色	65	ARP159	美国	棕色
32	Ag71021	四川红原	黄白色	66	MC441	美国	棕色
33	Ag71031	四川红原	黄白色	67	As2796	本站杂交	白色
34	Ag7101211	四川红原	黄白色				



图1 “罐叠袋法”新工艺制作透气袋原种
Fig.1 “Method of Stacked Bags in Can” principle of making breathable bag



图2 全国产材料的透气塑料袋
Fig.2 All domestic material breathable bags



图3 培养料进一次发酵隧道
Fig.3 Culture medium into the once fermentation tunnel

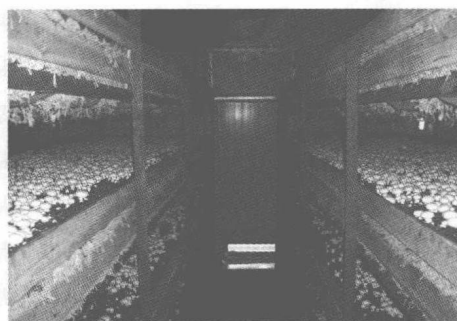


图4 出菇
Fig.4 Grown fungi

表 5 双孢蘑菇培养料不同的一次发酵方式效果对比

Table 5 Comparison of agaricus bisporus material cultures once fermentation results in different ways

发酵方式	温度分布 (℃)	最高温度 (℃)	pH	含水量 (%)	培养料结构
常规一次发酵	40~50~65~40	65~68	5.5~7.5	65~70	比较黏、有酸味、持水力差
隧道一次发酵	55~70~80~65	78~82	7.5~8.0	70~75	比较疏松、氨气较浓、持水力好

表 6 双孢蘑菇培养料不同的二次发酵方式效果对比

Table 6 Comparison of agaricus bisporus material cultures secondary fermentation results in different ways

发酵方式	通风量	温度控制	培养时间 (d)	含水量 (%)	培养料结构
常规二次发酵 (菇房床架式)	少量通风	上下层 温差较大	4~5	65~68	发酵不均、持水力差、填料量 达 60~70kg/m ²
隧道二次发酵	5~10min/h (2000~3000 m ²)	可稳定在 48~52℃	7~8	68~72	比较疏松、持水力好、填料量 达 100~110kg/m ²

——病虫害有效防治。胡清秀等利用 4 种高效低毒杀虫剂、4 种杀螨剂、4 种杀菌剂及对覆土农药处理手段，研究了不同处理对双孢蘑菇生长病虫害的防治效果。试验结果表明，4 种杀虫剂杀虫效果显著，虫菇数比对照显著减少；20%达螨灵 1000 倍的杀螨效果最佳；30%菇丰、40%霉得克的杀菌剂防治效果最佳。另还发现，在覆土前进行料面喷药处理，能够有效控制病虫害发生，提高产量。

——工厂化的周年生产。廖剑华等研究发现，双孢蘑菇培养料经过隧道式发酵与机械化堆制，培养料的物理结构、物质转化、营养成分均有大幅度的提高。结合上床机械提升打散、自动播种等措施，蘑菇菌丝在培养料中生长速度比常规栽培快 20% 以上，播种到覆土的天数缩短 4~5 天左右，整个栽培周期缩短

一半以上,从而提高菇房的利用率,单位产量提高100%。

表7 杀菌剂防治双孢蘑菇病害药效试验调查表

Table 7 Agaricus bisporus disease prevention and control efficacy questionnaire

编号	处理	剂量	调查菇总数	药后2 d 病菇数	药后4 d 病菇数	药后6 d 病菇数
1	20%异菌脲	2000×	50	5	2.5	2
2	50%咪鲜胺	1000×	50	6	2	2
3	30%菇丰	1000×	50	4	2.5	1.5
4	40%霉得克	1000×	50	4	2	2
CK	喷清水	0	50	6.7	5.6	6.3

表8 双孢蘑菇不同栽培方式的效果对比

Table 8 Agaricus bisporus compared the effect of different cultivation methods

栽培方式	单产 (kg/m ²)	栽培周期 (d)	投料量 (kg/m ²)	生物转化率 (%)
常规栽培	9~13	120~150	20~30	35~50
隧道发酵工厂化	20~5	65~72	45~50	45~50
国外工厂化	30~35	40~70	60~65	50~55

3 姬松茸无公害优质高效生产集成技术与进展

1992年,福建农业科学院从日本引进姬松茸并栽培成功。据统计,1998年姬松茸产量已达1000 t。姬松茸传统栽培的原料是稻草和牛粪,有的地区用芦苇秆。据调查,由于姬松茸重金属镉超标较为严重,影响出口贸易,阻碍了产业发展。因此,健康发展姬松茸生产必须从生产管理技术、高优品种、重金属防控、代料等方面突破,建立无公害绿色生产体系。

——优良品种选育。据调查,姬松茸生产管理较严格,当前受到生产管理技术的限制,春季栽培产量低,因此许多地区(莆田、仙游)只在秋季栽培。此外,由于姬松茸具有富镉特性,商检部门多次抽检发现镉超标的事件,导致近几年发展有所减缓,为此选育高优、抗逆、低镉的姬松茸新菌株是当务之急。江枝和、翁伯琦等研究人员在原有研究基础上,新收集了7株姬松茸菌株,并结合原有的种质资源,通过⁶⁰Co辐射选育,筛选出1株在产量、营养品质、低镉等方面有良好表现的新菌株姬松茸J₅,并已初步在莆田、仙游、云南等地区示范推广。

——高效优质栽培。姬松茸栽培管理技术相对于蘑菇等要求更为严格,雨季栽培比其秋季更难以成功。江枝和、翁伯琦、雷锦桂等在原有姬松茸栽培技术的基础上进行探索,利用稻草花点覆盖,可保护姬松茸小菇的生长发育,保护土壤的持水性。采用石灰、沸石、钙镁磷肥等价廉物美的物质作为改良剂,辅以简单易行的添加技术,抑制姬松茸通过培养料和覆土材料富集重金属,降低子实体中的镉等重金属含量。

——以草代料研究。福建省山地居多,丘陵密布,蕴含丰富的牧草资源。当前,江枝和、翁伯琦、雷锦桂等课题组人员已尝试利用决明类牧草栽培珍稀食用菌(姬松茸、鸡腿菇、猪肚菇、大球盖菇等)。研究显示,利用羽叶决明代稻草与沼渣配合栽培大球盖菇,其生物学效率达79.2%,比稻草+沼渣和稻草+木屑的处理均高。因此利用牧草代稻草等栽培珍稀食用菌不仅可行,而且在产量、营养品质方面的表现还优于稻草栽培。

表 9 不同培养料对大球盖菇产量的影响

Table 9 Different culture material on the yield of *Stropharia Rugoso-annulata*

处 理	子实体产量(kg/箱)				合计	X	生物学效率
	1	2	3	4			
羽叶决明+沼渣	2.40	2.15	1.85	1.50	7.90	1.98aA	79.2
稻草+沼渣	1.65	2.05	1.85	1.5	7.05	1.76aA	70.5
稻草+木屑	1.45	1.65	1.60	1.40	6.10	1.53bB	61.2

——菌渣再生利用。经分析,菌渣中含有大量的有机质和微量元素等营养成分,如香菇、金针菇和杏鲍菇菌糠的粗蛋白含量达 7.53%~11.92%,远高于木屑和棉籽壳这两种传统食用菌栽培主料,分别是杂木屑的 3.78 倍、5.99 倍和 4.07 倍,其中金针菇菌糠粗蛋白含量略高于麦麸。许多研究业已表明,可利用菌渣部分替代培养料栽培食用菌,且从氮源成分角度分析,菌糠的氮源略高于麦麸,因此可完全或部分替代麦麸等传统食用菌生产的主要氮源,减少麦麸用量。当前,在漳州核心示范区,利用栽培草菇的稻草料栽培双孢蘑菇已应用于生产中。翁伯琦、江枝和等还就金针菇、杏鲍菇工厂化栽培的废菌渣进行猪肚菇、金福菇的栽培试验。

表 10 不同菌渣营养成分比较 (%)

Table 10 Comparison of different fungi residues nutrient composition (%)

菌渣种类	干物质	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	无氮浸出物	灰分	钙	磷
棉籽壳菌渣	85.61	8.09	0.55	22.95	38.50	15.52	2.12	0.25
稻草菌渣	87.57	8.37	0.95	15.84	38.66	23.75	2.19	0.33
木屑菌渣	85.36	6.73	0.70	19.80	37.82	13.81	1.81	0.34
玉米	86.50	9.00	4.00	2.00	70.10	1.40	0.02	0.25

——增产机理研究。为了提高稻草等物料的利用率,达到循环高效的目的。江枝和、雷锦桂等开展了姬松茸分解稻草栽培料的机理研究,希望通过掌握姬松茸分解稻草的规律,优化栽培料配方,达到增产增收的目的。同时,还进行了添加微量元素对姬松茸生长发育的影响探索。研究表明,以添加 40 mg/kg 外源 Se 和添加 50 mg/kg 的外源 La 处理组是栽培姬松茸的较佳浓度。此外,还利用电镜观察添加硒、镧对姬松茸细胞内在结构的变化,从微观角度了解微量元素和稀土元素对姬松茸生长的影响^[12-13]。

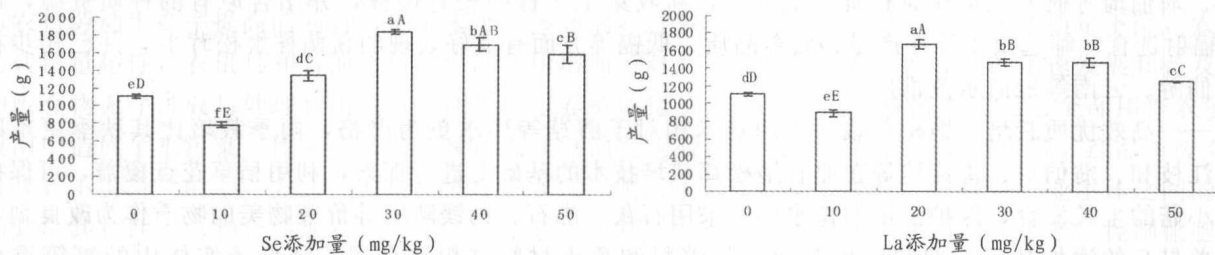


图 5 不同硒、镧添加量对姬松茸生物学效率的影响

Fig. 5 Effect of different Se, la addition on biological efficiency of *Agaricus blazei*

4 草菇等草腐生食用菌无公害标准化生产集成技术与进展

发展东南地区农田秸秆菌业产业体系,不仅要对该地区的当家食用菌品种,作深入的研究与模式构建,同时对于其他食用菌品种的研究也必不可少,唯有如此,才能完善东南地区农田秸秆菌业产业体系

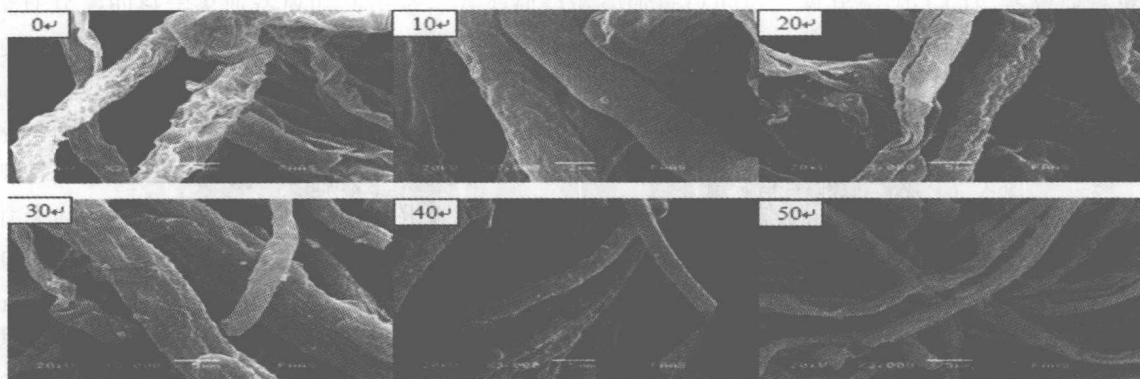


图6 外源Se对姬松茸菌丝体形态变化的影响

Fig. 6 Effect of Mycelium morphology of *Agaricus blazei* under the Condition of Exogenous Addition of Se

的构建,充分发挥优势,优化和提升食用菌产业地位和生产水平。

——引进推广优良菌种。陈君琛等研究人员已从各地引进草腐生食用菌草菇、大球盖菇优良菌株10株,初步筛选出生长力旺盛草菇菌株2个、大球盖菇菌株2个,拟将筛选出优质高产、适合稻草栽培的大球盖菇等草腐生食用菌新菌株。林衍铨等初步征集白金针菇菌株48株,竹荪菌株6株,通过形态特征、生物学特性观察和栽培品比试验,筛选出具有适合工厂化栽培目标性状的菌株8株。其后对8个菌株进一步进行谷壳基质配方适应性试验,筛选出理想菌株——FL8903和竹荪菌株——D1。

——合理改进栽培模式。经分析,大球盖菇废菌料(干料)含全氮7.86 g/kg,全磷0.27 g/kg,全钾26.9 g/kg。为此,依据区域特色和生产实际,因地制宜地构建了“稻草(秸秆)—大球盖菇—菌渣—农田(园地)再循环利用”的生产技术模式,在冬闲田栽培大球盖菇,产菇后的废菌料直接回田,与水稻或蔬菜连作,或与水稻和八角瓜、连荏套种烟叶,均取得了初步的成效。另据试验结果显示,大球盖菇连荏套种烟叶还可减少烟草花叶病的发生^[14]。

——开发利用谷壳资源。水稻收割后,不仅遗留下大量的水稻秸秆,稻谷加工过程中还有大量的谷壳。依据循环农业的原则,如何有效利用稻草和谷壳,进行增值增效的生产活动是必须考虑的。陈君琛、林衍铨等利用谷壳栽培大球盖菇、金针菇、竹荪研究。结果表明,以50%稻草、50%谷壳的配方栽培大球盖菇产量较高,达70%;在传统金针菇培养料配方中添加15%~20%谷壳也取得了较高的生物学效率^[15]。

——拓展菇类产品加工。陈君琛等还对大球盖菇的生物活性物质——黄酮类化合物提取开展了初步研究,采用单因素试验,以总黄酮提取率为指标,研究影响大球盖菇黄酮类化合物提取的因素,包括提取溶剂(水、乙醇、丙酮、乙酸乙酯)、物料比、溶剂浓度、提取时间、提取温度等条件。

5 优质高效菌渣肥发酵生产的工艺控制集成技术与进展

食用菌菌渣传统处理方法是丢弃或燃烧,这样势必造成环境污染。据测定,秸秆在菌丝的降解作用后,不仅含有大量营养成分,且菌渣中还增加了某些激素或特殊的酶,作为有机肥还田,能提高肥效,比直接沤制堆肥有更多的可给态养分。因此发展东南地区农田秸秆菌业生产体系的一个重要环节是如何有效利用菌渣生产有机肥。

——堆肥发酵菌株筛选。堆肥发酵的效果决定肥料质量优劣,因此发酵菌剂的选用是堆肥的关键环节。罗涛、王煌平等的试验测定了菌株羧甲基纤维素钠酶、内切酶、外切酶的活力,筛选纤维素降解常温菌株,并从3个堆肥菌剂、漳州宏宇肥业菌渣、宁德市金海西食用菌有限公司菌渣取样,进行分离纯化,50℃培养,筛选纤维素降解高温菌,目前此项工作正在开展中。胡清秀等从东北漠河、北京郊区的森林、农田土壤、腐烂的秸秆、腐烂的木材等初筛出23株具有明显羧甲基纤维素钠水解圈的菌株,其中细菌20株,放线菌1株,真菌5株,并进行滤纸崩解和酶活测定,筛选出2株菌株(W3、W4)作为实验菌株用

于堆肥试验。

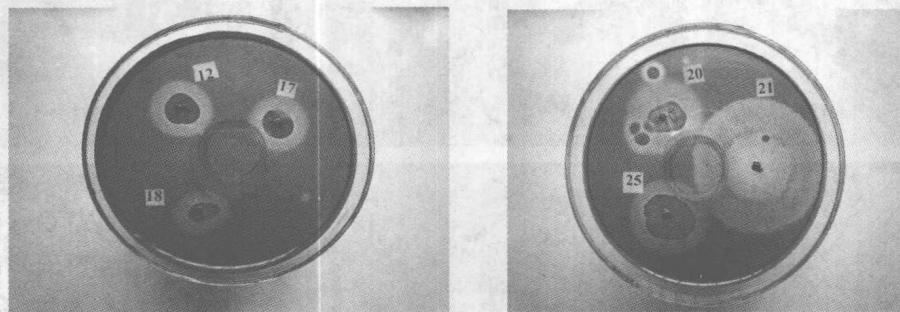


图7 纤维素降解常温菌刚果红染色

Fig. 7 Cellulose degradation bacteria at normal temperature and Congo red staining

——专用有机肥的研究。以宏宇肥业（漳州）有限公司采购的蘑菇土和茶叶渣为发酵主料，糠粉为合理 C/N 比值的调理剂。经研究，为了有效地利用蘑菇土，并降低茶叶渣的水分含量，可将谷糠粉、茶叶渣和蘑菇土按照一定比例进行堆肥发酵，蘑菇土：茶叶渣：谷糠粉的比例为3:6:1，这是工厂生产的最佳配比。另外，由堆肥结果可知添加有机物料腐熟剂和自制菌剂堆肥效果较好，但尚未对堆肥物料腐熟度的相关指标进行测定。

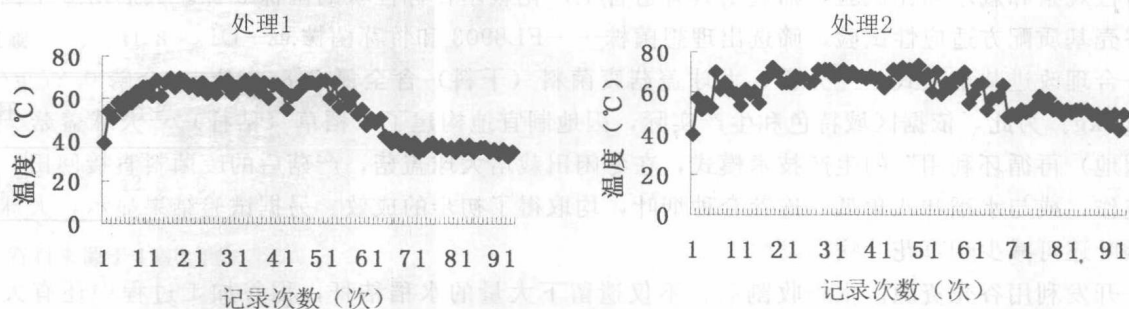


图8 各堆肥处理温度变化情况

Fig. 8 The temperature changes in composting

——菌渣复合肥工艺。林代炎等已初步分析了双孢蘑菇、姬松茸等菌渣的有机质、N、P、K 等肥料有效成分。目前开展了利用机械分离菌渣中的渣土试验和堆肥处理物料配方试验，以期优化菌渣肥生产工艺奠定基础。

6 菌渣循环利用对农田承载力与生态环境影响集成技术与进展

当前，对于食用菌菌渣的肥料利用研究已得到了重视，在生产中也得以应用。但对于菌渣肥施用量、土地承载能力等方面的研究较少涉及。循环经济“4R”原则中的“可控化”体现了在农业循环生产中，不仅要对各原料物尽其用，而且要求用后不能对生态环境造成重复污染和破坏。因此，建立东南地区农田秸秆菌业生产体系，则要把菌渣肥施用对生态环境的影响研究作为重要的组成部分，唯有如此才能真正体现循环农业的宗旨。

——农田承载能力分析。有关施用菌渣肥对农田承载能力影响的研究尚未见报道，因此对于农田生态承载能力的研究是东南地区农田秸秆菌业的重要部分。由于生态承载能力试验需要历经较长时间才能得到可靠的结果，黄勤楼、翁伯琦、黄秀声等就在水稻田、柑橘园、茶园、香蕉园等设置了长期定位观测试验，目前正在按计划实施中。