

# 农作物秸秆基质化利用技术研究进展

范如芹, 罗佳, 严少华, 卢信, 刘丽珠, 张振华<sup>①</sup> (江苏省农业科学院农业资源和环境研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:** 将农作物秸秆基质化可充分利用闲置的秸秆资源, 是保护珍贵泥炭资源、降低大气及农村环境污染的有效途径。阐述了农作物秸秆用于基质生产的技术原理, 介绍了生产流程, 详细阐明了其生产工艺参数与设备, 指出了技术操作要点, 最后对存在的主要问题及解决途径进行了总结和展望, 旨在为农作物秸秆的基质化利用和产业化生产提供技术参考。

**关键词:** 发酵; 复配; 秸秆; 泥炭; 栽培基质

中图分类号: X712 文献标志码: A 文章编号: 1673-4831(2016)03-0410-07

DOI: 10.11934/j.issn.1673-4831.2016.03.012

**Progresses in Study on Utilization of Crop Straw in Soilless Culture.** FAN Ru-qin, LUO Jia, YAN Shao-hua, LU Xin, LIU Li-zhu, ZHANG Zhen-hua (Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Utilization of crop straw in soilless culture is a way to make full use of idle straw resources, to conserve valuable natural peat resources, and to reduce pollution of the atmosphere and the rural environment. Technical principles of the utilization of crop straw in soilless culture were elaborated, technical process of the production introduced, technical parameters and equipment of the production illustrated in detail, and focal points of the operation pinpointed. In the end, main problems that hinder development of the process and approaches to solutions of the problems were summarized, and prospects of the project discussed. The review was intended to provide some technical reference for utilization of crop straw in soilless culture and industrialization of the culture.

**Key words:** fermentation; compound; straw; peat; culture media

无土栽培是传统农业生产向现代化、规模化、集约化转化的新型栽培方式, 因具有高产、优质、可避免土传病害及连作障碍等优势得以飞速发展。基质栽培是无土栽培的重要类型, 而栽培基质则是这种新型高效农业的基础, 基质的品质与产业化生产能力充分反映了无土栽培的水平<sup>[1]</sup>。泥炭是优良的传统基质原料, 但泥炭价格较高, 资源储量有限, 且短期内不可再生, 很多国家已禁止开采<sup>[2-4]</sup>。因此如何开发一种来源广泛、性能稳定、养分丰富、价格低廉且无污染的基质原料, 对提高基质品质以及基质产品的规模化生产至关重要<sup>[5]</sup>。

我国农作物秸秆年产量巨大, 秸秆品种繁多, 据农业部统计, 2009年我国农作物秸秆理论资源量为8.2亿t。同时秸秆中含有大量的木质素、纤维素、半纤维素和粗蛋白质等养分<sup>[6]</sup>。但目前我国秸秆的资源化利用率很低, 秸秆大量丢弃或焚烧, 严重污染大气及农村环境<sup>[7]</sup>。因此, 利用秸秆等有机固体废弃物生产栽培基质已成为无土栽培基质的研究热点<sup>[8]</sup>。在国外利用秸秆种植蔬菜已有50多

年的历史, 秸秆栽培基质在欧洲和加拿大应用非常普遍<sup>[9]</sup>。蒋卫杰等<sup>[10]</sup>首创了有机生态型无土栽培, 将腐熟的玉米秸秆或棉子壳、椰子壳、消毒鸡粪等有机废弃物与草炭、炉渣、菌渣等混合作为栽培基质进行黄瓜无土栽培, 其中腐熟的玉米秸秆配方取得了很好的栽培效果。其他研究者以秸秆为主要原料混配基质并进行温室内蔬菜作物栽培试验, 结果发现, 作物秸秆作为有机生态型无土栽培基质的主要配方原料经济可行, 能够满足作物正常生长发育需要, 这种本土化、低成本、可再生、环保型的育苗基质有广阔的发展前景<sup>[11-12]</sup>。

但目前秸秆基质化利用技术尚不成熟, 生产工艺与流程尚不规范, 基质产品性能不稳定, 且缺乏统一的科学操作标准。因此, 笔者回顾了农作物秸

收稿日期: 2015-05-18

基金项目: 国家自然科学基金(41401259); 中国博士后科学基金(2014M551528); 江苏省农业科技自主创新基金(CX(14)2035); 江苏省留学人员科技资助项目(苏人社2014-323)

① 通信作者 E-mail: zhenhuaz70@hotmail.com

秆用于基质生产的技术原理、生产技术和工艺参数与设备,并对存在的主要问题及解决途径进行了总结和展望,旨在为农作物秸秆的基质化利用和规模化、产业化生产提供技术参考。

## 1 秸秆基质化利用的技术原理

秸秆栽培基质制备技术是以秸秆为主要原料,添加其他有机废弃物以调节碳氮比和物理性状(如孔隙度、渗透性等),同时调节水分使混合后物料含水率在60%~70%之间,在通风干燥防雨环境中进行有氧高温堆肥,使其腐殖化与稳定化。原理是利用自然界(必要时接种外源秸秆腐解菌)大量的微生物对秸秆进行生物降解,微生物把一部分被吸收的有机物氧化成简单的可供植株吸收利用的无机物,把另一部分有机物转化成新的细胞物质以促使微生物生长繁殖,进而进一步分解有机物料<sup>[13]</sup>。最终秸秆等原材料转化成为简单的无机物、小分子有机物和腐殖质等稳定的物质。将堆腐稳定的物料破碎后,与泥炭、珍珠岩、蛭石、矿渣等材料合理配比,使其理化指标达到育苗或栽培基质所需条件。

农作物秸秆中含有大量的有机质、氮、磷、钾、钙、镁、硅、硫和其他微量元素,是重要的有机肥源之一<sup>[14]</sup>。但秸秆中上述养分只有在经过堆肥发酵等前处理后才能安全有效地被植株吸收利用。堆肥发酵技术是秸秆等废弃物处理的一种重要手段,也是其资源化利用的最重要技术之一<sup>[15]</sup>。原理为利用自然界大量的细菌、放线菌和真菌等微生物对秸秆进行生物降解,最终秸秆等原材料以简单的无机物、小分子有机物和腐殖质形态存在,而腐殖质则是理想的植株长效肥源<sup>[16-18]</sup>。秸秆发酵过程往往混合一定比例的畜禽粪便等物料,粪便等有机废弃物的主要成分为蛋白质、脂肪、碳水化合物以及一些微量的矿物盐分,这些成分可为秸秆发酵系统中的微生物提供代谢底物,促进其生长繁殖,而秸秆发酵过程中被破坏的纤维结构作为一种附着物和良好的发酵支持介质,可更好地吸附、分散粪便中的可代谢成分,同时有效地固定和浓缩这些有机质中的碳、氮、磷、硫等元素,提升秸秆作为肥料的潜在价值和应用潜力<sup>[19]</sup>。堆肥发酵除了将秸秆降解为有效有机肥之外,发酵过程中可产生50~70℃的高温,不仅干燥了物料,也杀死了虫卵和病菌等有害生物,为基质的安全应用打下基础<sup>[20]</sup>,同时秸秆发酵也改善了基质产品的化学稳定性<sup>[21]</sup>。

良好的栽培基质需具有以下基本功能:固定支持植株,提供植株所需营养,具备透气、持水以及缓

冲作用。因此,要求各种基质原材料在与其他材料合理配比并预处理之后具有足够的养分供给植株,具有适宜的紧实度与颗粒大小以满足通气透水的要求,同时材料需可以减轻根系生长过程中产生的有害物质或外来有害物质对植株的危害,以提供植株所需的稳定的生长环境。单一或未经处理的原材料无法满足上述要求,而作物秸秆、畜禽粪便等农业废弃物材料通过自身堆肥发酵、粉碎等处理之后与泥炭、珍珠岩、蛭石、矿渣等材料合理配比,改善基质容重、孔隙度、持水量、电导率、pH值和养分有效性等理化性状,方可达到植株生长的要求。目前认为基质的容重、总孔隙度、粒径、大小孔隙比(气水比)和持水量等是比较重要的物理性状<sup>[22]</sup>,而对作物有较大影响的化学性质主要有基质的化学组成及由此引起的化学稳定性、酸碱性、阳离子代换量、电导率和缓冲能力等。这些指标相互作用,共同影响基质的综合性能。

## 2 秸秆基质化生产流程

目前国内外秸秆基质化利用的流程主要包括秸秆原料预处理、与其他物料合理配比(复配)以及基质性状调控3大部分,生产流程见图1。

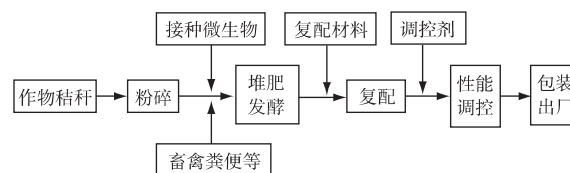


图1 作物秸秆栽培基质化生产流程示意

Fig. 1 Technical flow of soilless culture using crop straw as medium

### 2.1 秸秆预处理技术

秸秆预处理技术主要有机械粉碎和堆肥发酵技术。秸秆作为基质原材料,其物理、化学性质或生物学稳定性未能达到理想基质的标准,因此需要通过后期加工处理改良其性质以达到育苗或栽培要求,称之为秸秆的预处理。预处理方法分为物理方法和化学方法2类。物理方法有粉碎、过筛和混配等;化学方法有发酵、淋洗和使用发酵添加剂等。若秸秆颗粒过大,除采用粉碎、过筛方法外,通过发酵降解也可改变基质粒径。粉碎后的粒径大小对发酵时间和腐熟程度等也有一定影响。

在秸秆基质化利用初期,秸秆多是人工或收割机收获后直接用于发酵,或经过简单的堆沤便用于

蘑菇等作物栽培,发酵效果及基质性能不理想<sup>[23-24]</sup>。随着对基质品质要求的提高和粉碎机等机械设备的应用和改进,秸秆均需经过粉碎以取得较好的发酵效果,近年来甚至要经过严格的过筛程序<sup>[25]</sup>。对于玉米秸秆,姜洁<sup>[26]</sup>研究认为粉碎粒径为4~5 cm更有利于发酵。KUISMA等<sup>[25]</sup>则认为粉碎至3 cm粒径后效果才较为理想。其他秸秆,如芦苇,WANG等<sup>[27]</sup>发现粉碎至1 cm左右效果更佳。大多情况下,发酵过程对物料粒级的要求与基质产品对颗粒的要求不同,一般要求基质粒径小于2 mm更有利于通气透水和作物生长<sup>[28]</sup>,因此秸秆等物料发酵后往往需要进行更为严格的粉碎和过筛处理。

半个多世纪以前,欧美国家在进行秸秆基质化利用的初期尝试过程中,秸秆不经发酵而直接或经过碾压破碎等简单处理后用于蔬菜栽培<sup>[29-30]</sup>,这也是我国早期的秸秆基质化利用形式。由于秸秆原料养分利用困难、理化性状不达标等缺陷,堆肥发酵逐渐发展成为秸秆基质化的重要步骤。20世纪80、90年代,我国对秸秆的发酵仅局限于简易的室外堆放,过程控制也仅包括温度和水分条件的调节<sup>[31]</sup>,很少使用添加剂。为加速发酵进程、提高产品质量,发酵条件的研究成为秸秆资源化利用的热点。SENESE等<sup>[32]</sup>指出,有机质含量、颗粒大小、碳氮比、碳磷比和pH等是对堆肥反应有直接影响的主要控制条件。尿素和水等发酵调节剂及微生物发酵剂的添加也十分必要<sup>[33-34]</sup>。王富生<sup>[19]</sup>将晒干粉碎的玉米秸秆混以牛、羊粪混合发酵,并添加活性较强的短杆菌和芽孢杆菌,秸秆中碳水化合物及粗纤维成分被微生物分解利用,秸秆在较短时间内被腐殖化。复合菌剂(如EM)也是发酵有机物常用的添加剂,包括光合细菌、放线菌、酵母菌和乳酸菌等多种微生物。王瑞良等<sup>[35]</sup>利用EM菌剂发酵有机肥,结果发现氨基酸含量明显增加,有害物质含量降低。可见,添加活性菌群并控制发酵条件可大大缩短秸秆降解时间。同时,秸秆纤维晶格结构的破坏及降解可有效促进秸秆腐殖质化进程,提高其作为有机肥和基质原料的潜在价值。进一步将微生物发酵与秸秆预处理相结合可取得更为理想的发酵效果。高鹏辉等<sup>[36]</sup>先用酸、碱和氧化剂等化学试剂对秸秆进行预处理后再接种微生物发酵,粗纤维等可得到更好的降解,发酵产品质量更加理想。

## 2.2 秸秆堆肥与其他物料的复配

单一秸秆和粪便等有机物料堆肥发酵后用于栽培基质,常存在容重大、通气孔隙度过低等物理性状缺陷,需要与其他基质材料再次混配来

改善物理性状<sup>[37-38]</sup>。同时,有机基质的生物稳定性差,物理性状不稳定,也需通过与无机基质混合浸泡改善其稳定性<sup>[39]</sup>。早期的复配添加材料有棉岩、蛭石、珍珠岩和泥炭等,这些材料具有环境降解性差或价格较高等缺点,因此复配材料越来越倾向于环境友好且价格低廉的炉渣、河沙、土壤和矿渣等材料。根据基质配方及需求量的要求,计算出堆肥与每种复配材料的体积,将各原料分层间隔堆置,人工或使用翻堆设备充分搅拌均匀,即完成基质生产的材料复配步骤。大量研究表明,秸秆堆肥与土壤、河沙、炉渣、糖醛和锯末等材料复配可显著改善其持水性、容重和孔隙特征等物理性状<sup>[40-43]</sup>,用于蘑菇、草莓、番茄和青椒等作物的栽培能够取得良好的生产效果。郁继华<sup>[44]</sup>通过反复配方试验得出,有机物料添加量 $w$ 在60%左右(其中秸秆20%~35%,牛粪20%~35%,草炭0~20%,菇渣0~25%),无机原料 $w$ 在40%左右(其中蛭石0~10%,河沙或荒漠沙0~35%,炉渣0~35%),效果更佳。

## 2.3 基质调控剂的添加

由于基质材料本身的缺陷,基质材料配比成功后仍可能存在保水保肥性差的问题,且由于畜禽粪便含有较高的盐分,混合发酵大大限制了秸秆原料基质的应用效果和应用领域,此时需要通过添加调控材料,也就是基质调控剂(如吸水树脂、生物炭、腐植酸和硅藻土等)来改善其理化性质<sup>[45-48]</sup>。ARBONA等<sup>[49]</sup>指出,添加树脂后基质持水量大大提升, $\mu=0.4\%$ 的添加量即可有效降低干旱对柑橘树苗的不利影响。范如芹等<sup>[50]</sup>研究得出,淀粉基吸水树脂具有明显延缓基质水分蒸发、保持基质水分的效果, $\mu=1\%$ 的添加量即可降低50%的浇水量。邓琦子等<sup>[51]</sup>研究发现,在基质水分耗竭条件下吸水树脂可延缓黄瓜和番茄等植株的萎蔫发生时间,植株叶片量及茎粗等生长指标值也相应提高。许多报道指出,生物炭也具有改善基质理化性能和作物生长状况的作用<sup>[48,52]</sup>。另外,改性凹凸土、腐植酸、硅藻土、保水剂和草炭等也被用作添加剂来降低基质盐分。范如芹等<sup>[53]</sup>指出,凹凸土经过改性后对盐分有一定降低作用,添加量 $w$ 为3%和5%时,基质电导率即由 $2.36 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 分别降低到2.01和 $1.89 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。魏胜林<sup>[54]</sup>报道,保水剂( $2 \sim 10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ )和泥炭( $16.7 \sim 83.3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ )联用具有较好的降盐效果。FAN等<sup>[55]</sup>研究发现,吸收树脂( $0.8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ )与生物炭( $\varphi=10\%$ )联用可在提高基质保水性的同时抑制基质盐分升高。

### 3 秸秆基质化的生产设备及工艺参数

从秸秆原料到基质产品打包出厂,所用设备主要包括粉碎机、发酵设备、复配搅拌机(混合机)和计量打包机等。其中,粉碎机及计量打包机等是较为简易的设备,市场上常见的粉碎机、电子秤和打包机即可满足物料粉碎、称重和打包等要求。目前主要的设备为混合设备和发酵设备。

#### 3.1 混合设备

复配材料及基质调控剂与秸秆堆肥的混合均匀度对基质产品理化性状的稳定性至关重要,对发酵效果也有重要影响。人工翻抛混合不仅工作繁重,而且混合不均,因此混合机逐渐取代了传统的人工混合方式。目前国内使用的混合机可分为间断式混合机和连续式混合机2种。间断式混合机主要以单轴和双轴混合机为主,利用转动的桨叶进行搅拌,能够有效减少离析状况,使原料与配料充分混合。连续式混合机的结构主要由电机、供料器、管型壳体、转轴和桨叶组成。物料按配方用量由进口送入混合机,辅料或添加剂按配比通过辅料口进入混合机,混合机轴旋转时,桨叶将物料向前方翻动并抛起、混合,然后向出口输送,可实现“边进边出”连续作业。这种混合机占地面积小,可实现连续混合作业,且容易实现无人作业,但其对原料及配料的定量输送要求较高<sup>[56]</sup>。

#### 3.2 发酵设备及工艺参数

根据物料周转形式,发酵可分为静态式发酵和动态式发酵2种,根据物料放置方式又分为平地堆放式、池式和槽式发酵3种。堆放式发酵每堆物料堆放量一般为 $200\sim 400\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ,堆放高度在 $0.5\sim 0.8\text{ m}$ 之间,属开放式堆放,易受到环境和人为因素影响;池式发酵物料堆放在长条状(一般长度 $2\sim 5\text{ m}$ ,宽度 $1\text{ m}$ 左右)的防水地坑中,利于保温,发酵环境相对温和,但物料搬运困难,人工操作强度较大;槽式发酵则结合了平地堆放和池式发酵的优点,物料堆放于砌墙的发酵槽中,墙高 $1.2\sim 1.5\text{ m}$ ,墙体间隔 $2.0\sim 2.5\text{ m}$ ,长度 $15\sim 30\text{ m}$ ,发酵条件较其他2种有了较大改善,但槽底物料难于清理<sup>[56]</sup>。静态发酵易使物料受到外界杂菌的感染而影响成品品质,同时也存在劳动强度大、效率低、发酵不充分和肥料质量不稳定等缺陷,随着技术的发展进步,这种发酵方式终将被淘汰。

动态式发酵将物料放置在有机机械动力的容器内,由电器控制物料周转,自动化程度相对较高。目前常见的动态发酵设备有皮带式和车陈式2种。

前者将物料置于上下多层皮带上由链轮机拖动皮带缓慢运行,附有调节温度、排风和检测等设备,物料在输送过程中完成发酵;后者则将物料放置在特制的透气容器(容积 $1\sim 2.5\text{ m}^3$ )内,容器分成若干发酵队列,有2条分配通道和1条返回队列,由拖拽构造进行拖动,由电器控制实现物料的分配、翻转和运输。该设备较为灵活,发酵环境稳定,但投资成本较高<sup>[56]</sup>。自动搅拌设备的研发大大推动了动态发酵工艺的改进和发酵产品质量的提升。目前专门应用于秸秆等物料基质化生产的动态发酵设备仍较为少见,但不乏成功的案例。上海市农业机械研究所成功研制了具有搅拌、吊升、前进、后退及自动操作等功能的FJ-150型电动自走槽式搅拌机,采用连续输送链的形式将物料向后输送,移动方向遵从“由湿到干,由生到熟”的单向规律,充分搅拌,供氧更加充分、均匀,发酵效果十分理想<sup>[20]</sup>。用于秸秆饲料化生产的发酵设备经过一定的参数调整也可被用于基质化堆肥发酵。

另外,一种较有发展前景的秸秆发酵方式为发酵床原位发酵。该技术是根据微生态原理和生物发酵理论,利用微生物对畜禽粪尿原位降解,达到生态环境零污染的新型养殖模式。基本操作为将预先接种微生物的作物秸秆、稻壳等材料作物垫料投入牲畜圈舍内,以供畜禽饲养。畜禽排泄物一经产生便被有机垫料吸收,并在原地发酵降解,经过一到几年不等的圈舍原位发酵,秸秆及畜禽粪便等垫料被降解熟化,可直接用作有机肥或基质原料,部分垫料出圈后经过相对短暂的二次堆肥制成发酵床垫料堆肥再用于基质生产<sup>[57-59]</sup>。目前国内外发酵床以养猪类型最为普遍。垫料粒径控制在 $5\sim 50\text{ mm}$ 为宜;含水量 $w$ 维持在 $37\%\sim 45\%$ 为宜; $1\text{ t}$ 垫料用益生菌液 $2\sim 5\text{ kg}$ ;猪舍垫料厚度为 $80\text{ cm}$ 左右,可根据冬夏季节温差进行调节,一般不低于 $45\text{ cm}$ ;单个发酵床垫料体积不小于 $10\text{ m}^3$ <sup>[60]</sup>。

### 4 秸秆基质化技术操作要点

#### 4.1 发酵腐熟评价指标

秸秆堆肥发酵过程中应严格监测其理化性状动态变化,以腐熟度作为综合评价指标衡量堆肥产品的质量。物理指标(如温度、气味、颜色等)随堆肥过程的变化比较直观,可以用作定性的判断标准;化学指标包括碳氮比、氮化合物、有机化合物、阳离子交换量和腐殖质含量等;生物学指标包括微生物种群和数量、酶种类及活性、植物毒性指示以及一些卫生指标。

## 4.2 复配材料比例控制

秸秆复合基质作为一种轻型基质,其容重、密度和总孔隙度应适中,还需控制复配材料珍珠岩等的比例。国内工厂化容器育苗实践表明,容重大于 $0.78\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的基质透水保水性能差,而容重小于 $0.3\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的基质因结构过于疏松不能固定苗木,浇水时苗木出现倾斜现象。珍珠岩密度比水小,在大量灌水时会浮在水面致使下层珍珠岩颗粒与根系脱离,造成伤根,植株容易倒伏<sup>[61]</sup>。因此切忌复配时为了降低容重而添加过量的珍珠岩和蛭石。经验表明,通常珍珠岩比例不超过30%。复配与调制参数要求见表1。

表1 基质物理与化学性状指标

Table 1 Physical and chemical properties of the culture media

名称	单位	范围
物理性状		
容重	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$	0.20~0.60
总孔隙度	%	>60
通气孔隙度	%	>15
持水孔隙度	%	>45
气水比	无量纲	1:4~1:2
相对含水量	%	<35.0
阳离子交换量 <sup>1)</sup>	$\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$	>15.0
粒径	mm	<20
化学性状		
pH值	无量纲	5.5~7.5
电导率	$\text{mS}\cdot\text{cm}^{-2}$	0.1~0.2
有机质	%	$\geq 35.0$
水解性氮	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	50~500
速效磷	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	10~100
速效钾	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	50~60
硝态氮/铵态氮	无量纲	4:1~6:1
交换性钙	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	50~200

物理与化学性状测定方法参考 NY/T 2118—2012《蔬菜育苗基质》。  
1) 以 $\text{NH}_4^+$ 计。

## 4.3 基质性能评价

基质材料的配比要根据不同基质材料理化性质及植株生物学特性作出调整。秸秆基质复配后各项理化指标如容重、孔隙度、pH、电导率和养分含量等往往不能同时达到理想的标准范围,各项物料的添加在改善一部分性状的同时,往往对其他指标产生一定程度的负面作用,因此最佳配方的选择和评价还应通过基质栽培实验验证,以作物生长状况优劣作为重要参考标准。

## 4.4 基质安全性评价

由于中国畜禽饲料添加剂质量标准和管理不够严格,造成许多饲料添加剂中大量使用铜、锌、

锰、钴、硒、砷等中微量元素,畜禽粪便中重金属和有机污染物超标率高<sup>[62]</sup>,因此,秸秆基质添加畜禽粪便时应严格测定其重金属等有害物质含量,含量较高的基质不能用于可食作物栽培,而应多用于观赏性植被的栽培。

## 5 秸秆基质化利用存在的问题及发展途径

(1) 秸秆原料供应差异导致基质产品不稳定,应大范围利用秸秆,形成标准化、产业化生产技术体系。我国大部分地区秸秆生产存在很强的季节性,全年秸秆出产的数量和种类不均一;同时,由于不同田块养分状况、环境条件和管理状况等的差异,作物生长状况不一,因此即使同种作物秸秆也存在品质的不均一性。这些都导致秸秆源基质生产的原料供应存在不稳定性,不同批次生产的基质产品差异较大。针对这一问题,应大范围收集秸秆,充分混合的同时保证足够原料储备,将不同批次产品原料的差异降至最低,形成标准化、产业化生产技术体系,方可提升基质产品的均一性和稳定性。

(2) 高品质秸秆发酵产品缺乏,秸秆发酵技术研究有待加强。堆肥发酵过程是受温度、水分、微生物、养分比例、酸碱度、管理方式(如秸秆堆放方式和翻抛频率等)、发酵物料组成及粒度、发酵设备等多种因素影响的复杂过程,任何一个因素控制不当便会影响发酵产品质量。目前的发酵产品多存在腐熟度不够、虫卵及杂草种子过多、养分可利用性低等缺陷,尤其与畜禽粪尿混合发酵后,产品盐分过高和重金属等污染物含量超标的现象较为普遍,缺乏性能稳定的高品质发酵产品。因此,对秸秆进行有效的前处理,严密观测各项发酵环境参数及腐熟度进程,根据不同发酵阶段的特点接种有效菌种,采用生物学方法调控盐分并钝化重金属,加大优质发酵技术的研发,将是获取优质堆肥产品的有效途径。

(3) 秸秆基质化产品性状不佳,应充分重视与加强新型材料用作基质调控剂的研究和应用。吸水树脂、生物炭和腐植酸等在土壤改良中的应用已经较为成熟,成功的案例屡见不鲜。但这些材料用作基质调控剂的报道相对较少,且应用效果迥异,相同基质中甚至出现相反的结果<sup>[63-65]</sup>。因为基质与土壤在容重、孔隙度、水力学特性及养分释放等方面存在较大差异,故土壤改良剂应用于基质调控的效果、对基质基本性状的影响以及对栽培作物有无负面作用等均需要进行深入研究。同时,新型的

调控材料,如改性生物炭和改性凹凸土等,因本身具有优良的吸水或吸附性能,在基质性能调控改良中的应用也有待尝试。探明调控剂对基质理化性能及生物性状的影响机理,进而提出合理的添加方法,将是提升基质品质的有效途径。

(4) 秸秆基质化生产工艺及设备相对落后,应加强产业化生产中现代工艺和设备的研发。目前生产工艺和设备的研发相对滞后<sup>[66]</sup>,尤其关键的发酵设备等,存在生产工艺不完善、设备自动化程度及可操作性低、对物料要求过高、造价及维护费用高以及性能不稳导致产品品质不稳定等缺陷,制约了秸秆源基质性能的提升和产品的大规模生产。因此,强化生产工艺的完善,加大设备的研发力度,建立标准的秸秆粉碎、发酵、复配、调控等一系列的基质生产线,是大规模秸秆基质化利用与成熟基质产品生产的前提,也是未来产业化基质生产和规模化设施农业发展的大势所趋。

#### 参考文献:

- [1] 刘艳伟,吴景贵.有机栽培基质的研究现状与展望[J].北方园艺,2011(10):172-176.
- [2] SCHMILEWSKI G K. Quality Control and Use of Composted Organic Wastes as Components of Growing Media in the Federal Republic of Germany[J]. Acta Horticulturae, 1991, 294(1): 89-98.
- [3] VAUGHN S F, DEPPE N A, PALMQUIST D E, et al. Extracted Sweet Corn Tassels as a Renewable Alternative to Peat in Greenhouse Substrates[J]. Industrial Crops and Products, 2011, 33(2): 514-517.
- [4] CARLILE B, COULES A. Towards Sustainability in Growing Media[J]. Acta Horticulturae, 2013, 1013(1): 341-349.
- [5] 范如芹,罗佳,高岩,等.农业废弃物的基质化利用研究进展[J].江苏农业学报,2014,30(2):442-448.
- [6] MEDINA J, MONREAL C, BAREA J M, et al. Crop Residue Stabilization and Application to Agricultural and Degraded Soils: A Review[J]. Waste Management, 2015, 42: 41-54.
- [7] 苏继峰,朱彬,周韬,等.秸秆焚烧导致南京及周边地区2次空气污染事件的成因比较[J].生态与农村环境学报,2012,28(1):37-41.
- [8] 李谦盛,郭世荣,李式军.利用工农业有机废弃物生产优质无土栽培基质[J].自然资源学报,2002,17(4):515-519.
- [9] LANE G, STEVE D. Organic Greenhouse Vegetable Production[J]. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, 2000, 1: 10-16.
- [10] 蒋卫杰,郑光华,汪浩,等.有机生态型无土栽培技术及其营养生理基础[J].园艺学报,1996,23(2):139-144.
- [11] 王建湘,周杰良.农作物秸秆在有机生态型无土栽培中的应用研究[J].北方园艺,2007(4):7-9.
- [12] 张秀丽.秸秆型育苗基质对茄果类蔬菜秧苗素质的影响[D].长春:吉林农业大学,2004.
- [13] 朴哲,李玉敏,马帅,等.堆肥制作中微生物侵染秸秆的环境扫描电镜(ESEM)观察[J].生态与农村环境学报,2011,27(5):98-100.
- [14] AZAM F. Comparative Effect of Organic and Inorganic Nitrogen Sources Applied to a Flooded Soil on Rice Yield and Availability of N[J]. Plant and Soil, 1990, 125(2): 255-262.
- [15] SENESI N, PLAZA C. Role of Humification Processes in Recycling Organic Wastes of Various Nature and Sources as Organic Amendments[J]. Clean, 2007, 35(1): 26-41.
- [16] FINEK A. Fertilizer and Fertilization[M]. Verlagchemie, Germany: Agricultural Extension Service University of Florida, 1997: 105-111.
- [17] SILVA C F, AZEVEDO R S, BRAG A, et al. Microbial Diversity in a Bagasse-Based Compost Prepared for the Production of *Agaricus brasiliensis* [J]. Brazil Journal of Microbiology, 2009, 40(3): 590-600.
- [18] SINGH J, KALAMDHAD A S. Reduction of Heavy Metals During Composting: A Review[J]. International Journal of Environmental Protection, 2012, 2(9): 36-43.
- [19] 王富生.以秸秆为基质的发酵制肥技术研究[J].环境卫生工程,2014,22(1):69-71.
- [20] 宋丽萍.秸秆源栽培基质技术及设备的研究[J].中国农机化,2012(1):132-135.
- [21] 刘超杰,郭世荣,束胜,等.醋糟基质粉碎程度对辣椒幼苗生长和光合能力的影响[J].农业工程学报,2010,26(1):330-334.
- [22] LATIGUI A, ZERARKA A, KASMI A, et al. The Effect of Agricultural Byproduct of Olive Tree on Horticultural Substrate of Strawberry (*Fragaria ananassa*) Grown in Soilless Crop System[J]. America Journal of Plant Physiology, 2011, 6(2): 83-90.
- [23] SILANKOVE N, DANAI O, LEVANON D. Composted Cotton Straw Silage as a Substrate for *Pleurotus* sp. Cultivation[J]. Biological Wastes, 1988, 25(3): 219-226.
- [24] LEVANON D, ROTHSCCHILD N, DANAI O. Bulk Treatment of Substrate for the Cultivation of Shiitake Mushrooms (*Lentinus edodes*) on Straw [J]. Bioresource Technology, 1993, 45(1): 63-64.
- [25] KUISMA E, PALONEN P, YLI-HALLA M. Reed Canary Grass Straw as a Substrate in Soilless Cultivation of Strawberry [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 178: 217-223.
- [26] 姜洁.玉米秸秆微生物预处理工艺筛选[D].重庆:西南大学,2010.
- [27] WANG Q, LI H, CHEN T T, et al. Yield, Polysaccharides Content and Antioxidant Properties of *Pleurotus abalonus* and *Pleurotus geesteranus* Produced on Asparagus Straw as Substrate[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 134: 222-226.
- [28] ABAD M, NOGUERA P, BURÉS S. National Inventory of Organic Wastes for Use as Growing Media for Ornamental Potted Plant Production: Case Study in Spain[J]. Bioresource Technology, 2001, 77(2): 197-200.
- [29] GLUNTSOV N M, DMITRIEVA L V, KUTS M G, et al. The Effect of Fertilizers on the Yield of Cucumbers Grown on Straw Bales[J]. Trudy Tsentraliaogo Instituta Agrokhim, 1975, 3: 54-57.
- [30] LOUGHTON A. Straw-Bale Culture of Greenhouse Crops[J]. Proceedings of the International Symposium on Controlled-

- Environment Agriculture ,1977 4: 208-215.
- [31] 胡文华,易平.秸秆栽培平菇技术[J].浙江食用菌,1994,9(1):22-23.
- [32] SENESI N, BRUNETTI G. Chemical and Physicochemical Parameters for Quality Evaluation of Humic Substances Produced During Composting[M]//DE BERTOLDI M, SEQUI P, LEMMES B *et al.* The Science of Composting. London, UK: Chapman & Hall, 1996: 195-212.
- [33] 张晔,余宏军,杨学勇,等.棉秆作为无土栽培基质的适宜发酵条件[J].农业工程学报,2013,29(12):210-217.
- [34] 李文圣,王旭东.猪粪和牛粪与秸秆配合堆腐过程中腐殖物质的变化特征[J].生态与农村环境学报,2014,30(4):541-544.
- [35] 王瑞良,张永娥,姚静,等.“EM”菌发酵有机肥对番茄生长发育及土壤理化性状的影响[J].黄河蔬菜,2009,8(5):21-24.
- [36] 高鹏辉,翟双双,毛震,等.酸、碱、氧化剂等预处理对发酵秸秆的影响[J].中国饲料,2015(4):24-27.
- [37] 李谦盛,裴晓宝,郭世荣,等.复配对芦苇末基质物理性状的影响[J].南京农业大学学报,2003,26(3):23-26.
- [38] RAVIV M, OKA Y, KATAN J *et al.* High-Nitrogen Compost as a Medium for Organic Container-Grown Crops[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(4): 419-427.
- [39] 王吉庆,赵月平,刘超杰.水浸泡玉米秸基质对番茄育苗效果的影响[J].农业工程学报,2011,27(3):276-281.
- [40] 高新昊,刘兆辉,李晓林,等.秸秆基质的配比优化及在设施番茄栽培上的应用效果研究[J].土壤通报,2009,40(5):1147-1150.
- [41] 刘伟,余宏军,蒋卫杰,等.温室番茄长季节无土栽培技术的研究[J].中国蔬菜,2000,1(增刊1):30-34.
- [42] 张文斌,陆静,王勤礼,等.辣椒有机生态型无土栽培基质配方试验[J].北方园艺,2012(19):28-29.
- [43] 崔元圩,张升,孙晓军,等.棉花秸秆为蔬菜栽培基质的可行性研究[J].北方园艺,2012(19):37-38.
- [44] 郁继华.蔬菜基质栽培原料发酵及复配技术[J].中国蔬菜,2013(17):35-36.
- [45] 肖海华,张毅功.不同保水剂对基质保水性和黄瓜幼苗生长的影响[J].河北农业大学学报,2002,25(3):45-48.
- [46] 李永胜,杜建军,谢勇,等.保水剂对基质持水保肥力及番茄生长的影响[J].长江蔬菜,2006(8):57-58.
- [47] FARRELL C, ANG X Q, RAVNER J P. Water-Retention Additives Increase Plant Available Water in Green Foof Substrates[J]. Ecological Engineering, 2013, 52(1): 12-118.
- [48] CAO C T N, FARRELL C, KRISTIANSEN P E, *et al.* Biochar Makes Green Roof Substrates Lighter and Improves Water Supply to Plants[J]. Ecological Engineering, 2014, 71(7): 368-374.
- [49] ARBONA V, IGLESIAS D J, JACAS J *et al.* Hydrogel Substrate Amendment Alleviates Drought Effects on Young Citrus Plants[J]. Plant and Soil, 2005, 270(1): 73-82.
- [50] 范如芹,罗佳,刘海琴,等.淀粉基高吸水性树脂对基质理化性质及小青菜生长的影响[J].南京农业大学学报,2015,38(4):617-623.
- [51] 邓琦子,汪天.高吸水性树脂在无土栽培中的应用与展望[J].中国农学通报,2013,29(13):90-94.
- [52] DUMROESE R K, HEISKANEN J, ENGLUND K, *et al.* Pelleted Biochar: Chemical and Physical Properties Show Potential Use as a Substrate in Container Nurseries[J]. Biomass Bioenergy, 2011, 35(5): 2018-2027.
- [53] 范如芹,罗佳,高岩,等.凹凸土对无土栽培基质性能及番茄育苗的影响[J].江苏农业学报,2015,31(4):792-797.
- [54] 魏胜林.保水剂和泥炭对电导率降低效应及对木槿耐盐胁迫的影响[J].北方园艺,2009(3):174-177.
- [55] FAN R Q, LUO J, YAN S H, *et al.* Effects of Biochar and Super Absorbent Polymer Additions on Properties of Soilless Substrate and Growth of Water Spinach [J]. Pedosphere, 2015, 25(5): 737-748.
- [56] 高翔,虞宗敏,周荣.我国常用发酵饲料加工设备概述[J].粮食与饲料工业,2014(9):47-51.
- [57] IMBEAH M. Composting Piggery Waste: A Review [J]. Bioresource Technology, 1998, 63(3): 197-203.
- [58] FAN R Q, LUO J, YAN S H, *et al.* Use of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Compost as a Peat Substitute in Soilless Growth Media [J]. Compost Science and Utilization, 2015, 23(2): 237-247.
- [59] LUO J, FAN R Q, WANG T, *et al.* Evaluation of Spent Pig Litter Compost as a Peat Substitute in Soilless Growth Media [J]. Biological Agriculture & Horticulture, 2015, 31(4): 219-229.
- [60] 徐燕,张是.养猪发酵床垫料的优选与制作方法[J].福建农业,2013(9):30.
- [61] 高泽旭.容器育苗中秸秆复合基质的制备技术[J].科技情报开发与经济,2011,21(22):169-174.
- [62] 黄鸿翔,李书田,李向林,等.我国有机肥的现状与发展前景分析[J].土壤肥料,2006,43(1):3-8.
- [63] ATKINSON CJ, FITZGERALD J D, HIPPS N A. Potential Mechanisms for Achieving Agricultural Benefits From Biochar Application to Temperate Soils: A Review [J]. Plant and Soil, 2010, 337(1/2): 1-18.
- [64] GRABER E R, HAREL Y M, KOLTON M, *et al.* Biochar Impact on Development and Productivity of Pepper and Tomato Grown in Fertigated Soilless Media [J]. Plant and Soil, 2010, 337(1/2): 481-496.
- [65] ISLAM M S, RAHAMAN M S, YEUM J H. Electrospun Novel Super-Absorbent Based on Polysaccharide-Polyvinyl Alcohol-Montmorillonite Clay Nanocomposites [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 115(2): 69-77.
- [66] 张斯梅,杨四军,石祖梁,等.江苏省稻麦秸秆收集利用现状分析及对策[J].生态与农村环境学报,2014,30(6):706-710.

作者简介: 范如芹(1984—),女,山东临沂人,助理研究员,博士,主要研究方向为无土栽培基质的配方研究。E-mail: fanruqin2007@126.com

(责任编辑:许素)