

烟草废弃物在堆肥领域的研究进展

王金棒¹, 邱纪青¹, 汪志波¹, 李凌², 卢志菁², 邹珺^{1*}, 陈彦^{2*}

1.中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州 450001;

2.广东中烟工业有限责任公司, 广州 510385

摘要: 在烟草生产及加工过程中,通常会产生大量的烟草废弃物,如何有效利用这些废弃物以避免环境污染和资源浪费,已成为烟草行业亟需解决的问解。研究发现,烟草废弃物堆肥化处理是规模化利用废弃资源的有效途径之一,对烟草农业的绿色、低碳、循环、可持续发展具有重要意义。从有机肥堆肥制备技术、肥效研究等方面进行了系统综述,从整体上展示了烟草废弃物堆肥技术的发展现状,以期为国内烟草废弃物源堆肥未来技术的研发及产业化提供一定的参考。通过分析发现,在堆肥制备技术方面,主要有微生物菌剂添加技术、共堆肥技术和烟草材料预处理技术3种,此外还衍生出液态有机肥和厌氧发酵联产有机肥技术;在堆肥肥效研究方面,烟草废弃物堆肥可明显改善土壤的物性参数、化学参数以及生物学参数,显著钝化土壤重金属元素,进而提高作物的产量或品质,其中堆肥与化学肥料配施的效果相对较好;堆肥的多功能化是未来堆肥创新利用的重要途径。

关键词: 烟草废弃物;有机肥;堆肥;土壤改良

DOI:10.19586/j.2095-2341.2022.0030

中图分类号:S141.4

文献标志码:A

Research Progress of Tobacco Wastes in the Field of Compost

WANG Jinbang¹, QIU Jiqing¹, WANG Zhibo¹, LI Ling², LU Zhijing², ZOU Jun^{1*}, CHEN Yan^{2*}

1.Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China;

2.China Tobacco Guangdong Industrial Co., Ltd., Guangzhou 510385, China

Abstract: A large number of organic wastes are usually produced in the production and processing of tobacco. How to effectively use these wastes to avoid environmental pollution and resource waste has become an urgent research topic in the tobacco industry. It was found that composting of these wastes and applying it to the soil as a soil amendment is one of the effective ways to utilize waste resources on a large scale, which is of great significance to the green, low-carbon, recycling and sustainable development of tobacco agriculture. This paper systematically reviewed the organic fertilizer composting technology, fertilizer efficiency research, etc., and showed the technical development status of tobacco waste composting as a whole, which aimed to provide a reference for the future R&D directions of composting based on tobacco wastes and its industrialization. The results of this paper showed that there were mainly three types of compost preparation technology, including microbial inoculant addition technology, co-composting technology and tobacco material pretreatment technology. In addition, the technology of liquid organic fertilizer and anaerobic fermentation co-production of organic fertilizer was also derived. In terms of composting efficiency research, tobacco waste compost could significantly improve soil physical, chemical and biological parameters, and significantly passivate soil heavy metal elements, thereby improving crop yield and quality. Among them, the effect of co-fertilization with tobacco compost and chemical fertilizer was relatively better. The multi-functionalization of compost was an important way in the future.

Key words: tobacco waste; organic fertilizer; compost; soil improvement

收稿日期:2022-03-11; 接受日期:2022-05-24

基金项目:国家烟草专卖局、中国烟草总公司首席科学家创新专项项目(602022CK0550);中国烟草总公司重点研发项目(110202102051);中国烟草总公司重点研发项目(110202102048)。

联系方式:王金棒 E-mail:wangjinbangok@126.com; *通信作者 邹珺 E-mail:zoujunzy@126.com;陈彦 E-mail:xiao_chenyan@126.com

烟草废弃物是指烟草生产过程中废弃的烟叶、烟末、干烟筋、干烟茎、烟根等物质,主要含有利用价值较高的生物有机成分和次生代谢产物及氮、磷、钾、微量元素等养分,但由于其含有烟碱、茄尼醇等油溶性毒性成分,不适合直接还田,施用前需进行发酵腐熟处理,即在适合条件下利用微生物对有机物质及毒性成分进行降解。经过一定时间的好氧发酵等一系列生化反应将废弃物中有机可腐物转化为营养物质或腐殖质,最终得到腐熟的堆肥产品^[1]。生物腐熟具有周期短、无污染及利用率高特点,且处理量大,已发展成为我国烟草废弃物利用的一种主要途径^[2]。

目前堆肥分为普通堆肥和高温堆肥两类。普通堆肥一般混土较多,堆腐时温度较低且变化不大,所需堆置时间较长,适用于常年积造。高温堆肥是以富含纤维素的有机物料为主,同时加入一定量的人畜粪尿等物质,以调节C/N比,堆腐时有明显的高温阶段,堆置时间虽短但能加速堆制物质的腐解并杀灭其中的病菌、虫卵和杂草种子等。高温堆置适合集中处理大量农作物秸秆物料或生活垃圾,使之在短期内迅速成肥^[3]。烟草废弃物有机肥主要指高温堆肥,制备过程包括升温阶段、高温阶段和腐熟阶段(降温阶段),期间嗜温微生物、嗜热微生物交替活跃,直至堆肥完全熟化。烟草行业在烟草废弃物生物有机肥开发利用方面进行了诸多研究,并取得了良好的社会、生态与经济效益^[4-8]。鉴于此,本文着重从堆肥的制备、土壤参数的改良以及对作物的肥效3个方面对国内外烟草废弃物在该领域的研究现状进行系统梳理和总结,以期在技术创新、产品研发和技术推广等方面为高效利用烟草废弃物提供理论参考。

1 烟草废弃物堆肥制备技术

烟草废弃物堆肥化制备技术主要包括基于微生物菌剂的添加技术、与鸡粪等混合的共堆肥技术、沼气化联产堆肥技术等方法。其中,高温(60~70℃)和高温持续时间是影响堆置效果的重要因素,直接关系到废弃物中病菌与虫卵的高温灭活程度和大分子有机质降解为游离态养分的速度等^[9]。Briski等^[10]和邱慧慧等^[11]研究显示,相比厌氧堆置,好氧发酵体系温度可达50℃以上,发

酵16d原料中烟碱含量可下降77.5%,且最优发酵温度为50~65℃;此外,陈飞等^[12]研究发现,在鸡粪与小麦秸秆联合进行的好氧堆肥过程中添加少量烟草废弃物,制备的堆肥产品对土壤根结线虫具有明显的抑杀效果(致死率100%)。可见,烟草废弃物堆肥化处理可有效降低烟草原料堆肥还田后对植物生长的不利影响,同时还具有一定的病虫害防治效果。

1.1 微生物菌剂添加技术

烟草废弃物尤其是烟秆含有大量的木质纤维素,且木质纤维素的降解是烟草废弃物堆肥化的关键^[13]。研究表明,木质纤维素的分解主要发生在高温阶段,而在高温阶段微生物菌落的种类和数量均会受到很大程度的抑制,据统计,较中温阶段平均减少1~2个数量级,严重限制了木质素、纤维素等物质的降解^[13]。另外,烟草废弃物中含有烟碱等具有生物毒性的成分,这也是影响其堆肥化效率的重要因素。因此,研究者大多将研发的焦点集中在耐高温纤维素及烟碱降解菌的筛选、菌剂的开发和应用等方面,以进一步提高堆体升温速率,加快木质素、纤维素等物质的降解,缩短堆肥周期。

1.1.1 纤维材料降解菌株的筛选 在纤维材料降解菌株筛选方面,相关降解微生物主要是从富含微生物的牛粪、猪粪堆肥、腐殖土、烟草源或非烟草源腐殖质,以及烟草废弃物中经分离、筛选得到,且对烟草废弃物纤维素等大分子的降解效率主要依赖于微生物所产酶的活性^[13]。张楠等^[14]从牛粪、猪粪堆肥和腐殖土等不同原料中筛选得到4株降解纤维素的耐高温真菌,所产酶酶活超过10U,施加7d后烟秆中纤维素、半纤维素和木质素的分解率分别可达52.7%、47.9%和37.6%,显著优于对照(不接菌的烟秆)。杨雪梅等^[5]从腐殖质中分离出高产漆酶的木质素降解真菌——粘头酶属(*Moniliales glioccephalias* sp.),其产酶酶活为3.24U·mL⁻¹,施加30d后烟秆粉末中木质素和纤维素降解率分别为39.39%和36.00%。黄小容^[15]从烟秆堆腐殖、白栎腐殖、白蚁、葡萄枝等样品中筛选得到14株综合酶活力较高的木质素降解菌,通过拮抗实验和烟秆降解效果实验筛选出对半纤维素、纤维素和木质素降解效果较好的两组组合菌剂,分别为枯草芽胞杆菌+盘长孢状刺盘孢+杂色曲霉组合和枯草芽胞杆菌+漠海威芽胞杆菌+

盘长孢状刺盘孢+杂色曲霉组合,二者对半纤维素、纤维素和木质素的降解率较接近,分别为33.70%、39.93%、44.61%和39.74%、41.22%、48.01%。梅金飞等^[16-17]从烟秆废弃物中筛选得到4株高效纤维素降解菌——嗜热芽孢杆菌(*Bacillus aerophilus*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)和高地芽孢杆菌(*Bacillus altitudinis*),复配后的菌剂促腐效果明显优于商业有机肥菌剂。Liang等^[18]从腐烂的木头和烟秆废弃物中筛选得到两种白腐菌——毛曲菌(*Trametes hirsuta*)S13和平菇(*Pleurotus ostreatus*)S18,堆肥过程中施加两种菌可将烟秆中木质素的降解率提高2倍,至41.1%。鉴于烟草原料组成的独特性,相应微生物的筛选还倾向于聚焦耐高温、耐烟碱或可同时降解多靶标底物的同时降解等性能。王明旭等^[6]从废弃烟丝、腐熟牛粪、油枯有机肥和味精下脚料等废弃物中分离筛选出6株高效菌株,综合考虑对纤维素的降解能力和耐烟碱(浓度0.5%~0.1%)能力,发现解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens* N1)和母牛分枝杆菌(*Mycobacterium vaccae* N2)复配后的菌剂效果最好,且复配后菌剂的烟碱耐受性显著高于相应单一菌株。李文豪等^[19]从自然腐烂的木桩、烟秆以及木材废料堆中筛选得到3种优良纤维素降解菌株——霉A(*Trametes* sp.)、N019a(*Lysinibacillus fusiformis*)与imp(*Rhizopus oryzae*),且3株菌株与纤维素降解菌株B4、B26与M90以及烟碱降解菌株P3a均有良好的兼容性,复配后施加烟秆中木质素的降解率比对照(不接种任何菌)提高了56.78%,且烟碱的降解率达到59.51%。此外,基于产高活性纤维素酶的外源菌株复配也是烟秆降解微生物及菌剂的重要来源。彭瀚辉等^[20]通过将产纤维素酶活力较高的菌株复配得到耐高温高效复合菌H2568-B1-M1,所产纤维素酶活力最高可达625.44 U·mL⁻¹,施加15 d后烟秆中纤维素、半纤维素、木质素的降解率分别为59.15%、75.20%和36.44%。

1.1.2 烟碱降解菌株的筛选 在烟碱降解菌株筛选方面,仍主要是从富含微生物的含烟碱基质,如植烟土壤、烟草废弃物或堆肥等中筛选、鉴定新型的烟碱降解菌株,且研究发现,烟碱降解菌在降解基质烟碱的同时还与纤维材料降解微生物有一定的协同促进作用^[21-22]。伍良伟^[21]从土样、烟秆、实

验室已保藏菌株中筛选得到1株降解烟碱能力最好的菌株EA-17——嗜组氨酸节杆菌(*Arthrobacter histidinovorans*),所产烟碱脱氢酶酶活达8.11 U·mL⁻¹,远高于同属其他菌株,施加到烟秆-废水污泥(1:1)混合堆肥体系(已添加降纤维素菌株黑曲霉和芽孢杆菌混合菌剂),烟碱的降解率达到49.33%,较对照(只添加降纤维素菌株黑曲霉和芽孢杆菌混合菌剂)提高了21.06%,且纤维素和半纤维素的降解率也明显提高,增幅分别为26.29%和17.52%。王瑞等^[22]研究也显示,EA-17菌株在堆肥中生长良好,在单独烟秆堆肥化过程中添加M1+M90+B4+B26混合菌剂和EA混合菌剂的烟碱降解率较对照(仅添加M1+M90+B4+B26混合菌剂)提高了74.5%,且对纤维素、半纤维素的降解效果与伍良伟^[21]的研究一致。Briski等^[23]从堆肥中分离到1株烟碱降解菌FN——铜绿假单胞菌,烟草渗滤液实验显示,菌株FN对烟碱具有很强的降解性能。

1.1.3 堆肥产品的制备 在堆肥产品制备方面,研究发现,相比自然发酵和使用单一或单独EM菌,在堆置过程中施加复合微生物菌剂不仅能够显著缩短发酵周期,而且能够使有机物和烟碱的降解更充分,利于氮、磷、钾等营养元素的充分释放,从而得到高效的有机肥^[24]。张占军等^[7]研究发现,添加含细菌、霉菌和真菌的复合微生物菌剂可明显促进烟草废弃物的堆肥化进程,堆肥34 d即可完全腐熟,种子发芽指数达到88.6%,而同等条件下对照组(不添加任何菌剂)的种子发芽指数仅为47.1%。高明等^[25]在烟梗高温好氧堆肥化的研究中添加含细菌、放线菌和真菌的发酵菌剂也得到了相似的结论,且所得有机肥产品的各项指标均优于生物有机肥农业行业标准(NY884-2012生物有机肥)^[7,25]。另外,张志玲等^[24]研究还显示,微生物菌剂除了能够缩短发酵周期、提高种子发芽指数外,还可显著增加烟草堆肥产品中N、P、K等养分含量,降低堆肥容重,提高堆肥总孔隙度和持水孔隙度,进而改善堆肥产品的整体品质。以上研究表明,菌剂筛选主要集中在纤维素降解菌和烟碱降解菌方面,相关菌主要从含有纤维素的复杂基质中经分离、筛选得到,如动物粪便、堆肥、农林废弃物等。降解菌剂的开发也逐步由单一菌剂过渡到混合菌剂,兼顾耐高温、耐烟碱等特性,在显著降低纤维素、半纤维素、木质素和

烟碱等目标底物时具有一定的协同作用,进而达到缩短堆置时间和提高堆肥品质的目的。

1.2 共堆肥技术

影响废弃物堆肥化进程和有机肥品质的因素较多,如温度、含水率、通气量、pH、C/N比等,其中原料的C/N比是至关重要的因素^[26]。鉴于烟草废弃物的C/N比通常不在堆肥化的最佳范围,一些研究者将鸡粪、猪粪、葡萄渣、橄榄渣或苹果渣等有机物料作为碳源或氮源调节剂加入烟草废弃物中进行共堆肥,不仅可将混合原料的C/N比调节到堆肥化的最佳比例,而且对烟草废弃物中的烟碱也起到一定的稀释效果^[8,27-36]。此外,由于动物粪物料孔隙度大且富含有益微生物,故可有效提高堆肥物料的孔隙度和微生物数量,进而促进共堆肥化进程,降低堆肥产品的生物毒性^[37-38]。

在两种物料混合堆肥方面,相关研究涉及造纸厂制浆污泥、牛粪、鸡粪、猪粪、苹果渣等外源性物料,研究主要聚焦于优化外源性物料与烟草废弃物的混合比例,进而提高堆肥的腐熟度。陈育如等^[27]在国内率先开展了两种物料的联合堆肥处理,基于造纸厂制浆污泥含水量高和烟草废弃物含水量低的特点,通过优化得到了适合微生物生长的堆肥基料。韩相龙等^[28]研究发现,在添加EM菌剂的基础上,适宜的烟梗与牛粪混合比例有利于加快堆肥腐熟和提高产品中矿质养分含量,最适C/N比为22,且堆肥45 d后产品的种子发芽指数高达121.3%。Kopceic等^[29-30]分析了苹果渣与烟草废弃物混合堆肥的方法,在C/N比为11.6时堆肥后物料中53.1%的挥发性固体(volatile solids)可被降解。何云龙等^[31-32]在添加混合菌剂的基础上研究确定了鸡粪与烟草废弃物的最佳混合比例,为1.000:1.373,此时C/N比为20,堆肥30 d可完全腐熟,种子发芽指数达到79.1%,而对照样(纯烟草废弃物)C/N比为25的种子发芽指数约为23.0%。竹江良等^[33]分析了猪粪与烟草废弃物联合堆肥对腐熟进程的影响,结果发现,猪粪的添加量越多越有利于缩短物料进入高温阶段所需时间和高温的持续时长,烟草废弃物与猪粪比例分别为7:3、8:2和9:1时,堆肥结束后产品种子发芽指数分别为81.4%、84.1%和83.7%,而对照(单纯烟草废弃物物料)仅为72.7%。李放等^[8,34]研究显示,相比碳酸氢铵等无机调节剂,烟秆与鸡粪联合堆肥处理的高温保持时间更长,短期堆肥条件

下(20~30 d),腐熟更为彻底,但长时间堆肥条件下(50 d),二者差异并不明显。Adediran等^[35]也综合研究了牛粪、猪粪、家禽粪以及卷心菜废弃物等有机物料与烟草废弃物(含木屑)共堆肥的效果,结果显示,4种组合物料经45~49 d堆肥均可达到腐熟标准,且相比于原料,堆肥化中每千克物料烟碱的降解率最高可达98.7%,最终堆肥产品的烟碱含量低于160 mg·kg⁻¹。除两种物料的共堆肥化体系外,一些研究还涉及了3种物料的调控技术。Wang等^[36]系统研究了鸡粪、烟末和蘑菇基质3种物料的混合发酵,结果发现,蘑菇基质的添加可提高堆肥的腐熟度,降低堆肥的植物毒性,堆置20 d时种子发芽指数就达到了80%,35 d时种子发芽指数增加到120%,而未添加蘑菇基质的堆肥产品种子发芽指数仍低于80%。

在新型工艺开发方面,徐智等^[39]在废烟末和猪粪共堆肥原料的基础上,开发了不同于常规堆置发酵的装袋密封(厌氧或缺氧)发酵方法,结果显示,袋式发酵可较好地完成堆肥过程,含水率对堆肥发酵过程影响不显著,堆置40 d含水率不同(45%~60%)的各堆肥原料所对应产品的种子发芽指数为80%~85%,综合考虑堆肥产品的后续加工,对混合物料的联合发酵适宜采用低水分配置堆肥,优化后的处理条件:C/N比为25、含水率为45%~50%、袋式发酵时间18 d以上即可。

1.3 烟草材料预处理技术

烟草废弃物尤其是废弃烤烟烟叶富含烟碱,其C/N比常低于20,不利于堆肥腐化过程。除在堆肥过程中添加降烟碱微生物菌剂或葡萄渣、橄榄渣等其他物料进行稀释或调节外,研究发现,对原料进行预处理或将烟草不同部位原料混合同样可达到调节堆肥原料C/N比的目的,同时还简化了堆肥原料的准备及复配过程^[26]。Zhao等^[26]研究发现,堆肥前对烟叶原料进行热预处理可调控烟叶原料C/N比的效果,与烟秆按4:1混合堆置49 d即可完全熟化,种子发芽指数超过80%,60 d后种子发芽指数为85.2%,而此时对照(未进行热预处理的烟草废弃物)仅为31.3%。赵桂红等^[40-41]研究发现,在纯烟叶堆肥化中添加烟梗能加快堆肥化的启动和延长高温持续时间,进而促进堆肥的稳定和腐熟,但添加量过高则不利于堆肥的进行,叶梗比8:2为最优,且动态堆肥的效果优于静态^[30]。

1.4 其他有机肥制备技术

相比常规固态的堆肥产品,鲁贤等^[42]将烟梗发酵后制成滤液,制备出液态的水溶性肥料。此外,Liu等^[43]还通过烟秆、小麦秸秆和猪粪等混合物料的厌氧发酵沼气化技术联产了相应的有机肥,并发现高温(55℃)发酵能够同时将原料所含的黄瓜花叶病毒和烟草花叶病毒灭活,且经发酵后可直接或经深加工制成水溶肥、叶面肥或育苗基质等应用于果蔬、粮食及花卉的生产。

2 烟草废弃物堆肥肥效研究

土壤性状的改良或作物产量及品质的提升程度是评价有机堆肥效果最直观的指标。有机堆肥主要是通过改善土壤物理性质来改变化学环境、强化微生物活动、提高酶活性和增加土壤微量元素含量,从而达到提高土壤肥力的效果,最终提高作物的产量和品质。

2.1 改良土壤

土壤是烤烟生存的基质,植烟土壤的酸度、有机质、氮磷钾含量及中微量元素等对烤烟的产量和质量有重要的影响。樊俊等^[44]研究发现,烟秆有机肥还田处理后,土壤的养分含量、酶活性和微生物数量显著高于秸秆(水稻秸秆、玉米秸秆、烟草秸秆)直接还田和对照(不翻压秸秆组),速效磷、速效钾、有效锌、有效镁、有效硼含量分别比对照提高了74.9%、86.9%、134.5%、66.2%和46.6%。姚珊珊等^[45]在对酸性土壤改良的研究中发现,烟秆有机肥对提高土壤有机质和总氮含量的效果显著优于玉米秸秆有机肥、商用有机肥、土壤调理剂(施地佳)和碱性肥料(生石灰、白云石粉),但提高土壤磷、钾含量的效果有限。在共堆肥产品评价方面,韦建玉等^[46]研究发现,有机物料与烟秆堆置制备的有机肥可明显提高植烟土壤中有效磷和速效钾的含量,总量分别提高33.0%和33.5%。李文豪等^[16]研究表明,增施烟秆有机肥可显著提高土壤中交换性钙、速效磷与有机质的含量,还有利于提高土壤pH和稳定性。施河丽等^[47]的研究结果与李文豪等一致,并确定了烟秆有机肥的烟田最佳施用量(1 500 kg·hm⁻²),烤烟生长旺盛期土壤的交换性盐总量和离子饱和度分别比对照(单施化学肥料)提高了41.29%和36.88%。在堆肥使用方式方面,耿明明等^[48]的研究表明,施加烟梗(末)有机

肥或与化肥配施可有效提高土壤有机质含量,改善土壤氮、磷、钾养分状况,其中与化肥配施的效果更好,其土壤氮、磷、钾含量分别比对照(不施肥料)提高了8.95%、2.79%、8.86%和2.64%,即使在烤烟生长后期,土壤中有效磷和速效钾含量也显著高于仅施加化肥的土壤。王亚麒^[49]的研究也发现,烟末有机肥单独施用或与化肥配施在提高土壤微生物量、碳、氮、以及碳氮比方面显著优于对照(不施肥)和纯化肥处理,说明烟草源有机肥更能改善土壤水分、养分的供应状况,满足作物和土壤微生物对养分的需求。

土壤团聚体被视为评价土壤质量最重要的指标之一,良好的土壤结构和稳定的团聚体对提高土壤养分供给能力、促进土壤生产力恢复、提高孔隙度和降低可蚀性等均至关重要。而土壤团聚体的形成和其稳定性则受施肥的影响最为显著。金亚波等^[50]以连作20年的黄壤烟田为研究对象,研究了各类腐熟有机物料(鸡粪、猪粪、烟秆有机肥、菌渣有机肥)与化肥配合长期施用对连作烟田土壤团聚体组成特征及土壤肥力的影响,结果发现,施用有机物料鸡粪、猪粪、烟秆有机肥、菌渣有机肥均可有效提升土壤的速效养分和改善土壤的团聚体组成,其中烟秆有机肥的提升效果最好,分别比对照(仅施化学肥料)提高了27.6%和13.3%。陈红华等^[51]的研究也发现,相比稻壳、稻壳+谷糠、茶枯等农业废弃物,烟秆有机肥还田对土壤团聚体(大于0.25 mm)含量、总孔隙度、通气孔隙度、毛管持水量和土壤含水量等指标的提升效果最好,分别提高了28.1%、17.2%、43.4%、13.0%和10.3%,且对植烟土壤中根结线虫病的防治效果也最好,处理60 d和120 d后的防控效果分别为77.27%和49.9%。

土壤根际微生物群落,尤其是多样性较高的细菌群落,可阻碍病原体入侵,细菌性土壤和真菌性土壤常被认为分别是健康土壤和衰竭土壤的生物学指标。有机肥的施用能显著增加烤烟根际土壤微生物种群数量和丰度,进而提高烟田土壤的抗性^[46]。韦建玉等^[46]研究发现,在烤烟土壤中施加有机物料和烟秆的共堆肥后,根际土壤中细菌、真菌、放线菌的生物数量可分别增加102.7%、63.9%、100%。李文豪等^[19]研究也表明,相比真菌,施加烟秆有机肥更能提高土壤中细菌群落的丰度,表现为病原微生物丰度的明显降低,以及大

部分有益微生物与拮抗微生物丰度的增加。樊俊等^[44]的研究也显示,相比水稻秸秆、玉米秸秆、烟秆还田,施用烟秆堆肥后,土壤微生物种类的增幅最大,为15.5%,烟秆有机肥降低土壤中烟草致病菌丰度的效果优于秸秆还田,比对照(不翻压秸秆组)降低了37.9%,但同时固氮菌的相对丰度也降低了16.4%,可能稍不利于土壤氮素的固定。除对土壤微生物的影响外,樊俊等^[44]、王亚麒^[49]和Okur等^[52]的研究还表明,单独施用烟秆堆肥或与化肥配施可提升土壤蔗糖酶、脱氢酶、脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶的活性,有利于土壤有机质循环、氮磷养分转化和活性氧消除。以上结果表明,相比其他农林废弃物直接还田、堆肥产品以及化学肥料,烟草废弃物(烟秆)源堆肥单独或配施更有利于改善土壤的理化性质、提升土壤微生物种群的数量和丰度以及提高土壤养分关联酶的活性,具有广阔的应用前景。

2.2 钝化土壤中重金属元素

烟草废弃物堆肥原料重金属原位钝化的原理主要是有机物料经微生物动态发酵后可快速分解,所产生的腐殖质能够与重金属发生螯合反应^[53],进而限制了重金属向生物体的转移、转化。周雯婧等^[54]系统研究了烟草废弃物、活性土壤和猪粪3种物料共堆肥过程中烟叶中重金属镉的5种形态(可交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机物结合态、残渣态)含量的动态变化,前3种形态不稳定,具有较强的生物有效性,后2种是稳定态,结果显示,虽然堆肥化对烟草废弃物中镉的绝对量影响不大,但可明显提升稳定形态所占的比例,由52%提高至63%,其中,在腐熟阶段转化为残渣态的比例最为显著,由6.2%上升至29%,而有机结合态在升温阶段和降温阶段比例有所增加,高温和腐熟阶段相对回落,总体提升16%。Zittel等^[55]评价了走私卷烟和工业污泥共堆肥对原料重金属的影响,发现所制备的有机肥中重金属浓度明显低于国外有机堆肥标准,能够达到适用于农田的相关要求。Gebologlu等^[56]研究也显示,烟草废弃物与粪肥、稻草的共堆肥产品中重金属含量也均处于安全阈值以下。可见,堆肥化处理有利于降低原料中重金属的活性和毒性。

此外,烟草废弃物等有机肥富含有机质,施入土壤还能够与土壤中的重金属离子发生螯合反

应,从而降低土壤中重金属元素的生物可利用性^[57]。Seremeta等^[58]研究显示,烟草源堆肥对Pb的吸附可能主要源于堆肥产品表面的酚羟基、羧基以及氨基等官能团的键合作用,并检测到有机金属螯合物的形成。高福宏等^[59-60]研究也显示,相比对照(不施肥),施用农家肥和烟草废弃物堆肥对土壤中Pb和Cd元素的总量无明显影响,但均能显著降低土壤中有效态Pb或Cd含量,进而降低甘蓝或辣椒等作物对土壤中Pb或Cd的富集系数和转移系数。以上结果表明,烟草废弃物堆肥化利用能够通过腐殖质与重金属元素的螯合作用有效降低堆肥原料及土壤中重金属元素的生物可用性,在重金属污染土壤的修复方面具有一定的应用潜力。

2.3 提高作物产量及品质

烟草废弃物堆肥对土壤的改良和重金属元素的钝化等最终都体现为对作物产量或品质的提高。该领域的研究对象有烟草和其他作物如菜心、番茄、核桃、莴笋、玉米等;评价内容除最终产品的产量或品质外,还有堆肥施加前后植株生长性状的变化和病虫害的防治效果;评价过程有单施有机肥和与化肥或其他肥料配施两种方式。

2.3.1 烟秆堆肥在烟草种植中的效果 在烟叶种植方面,李文豪等^[19]研究发现,在烟草成熟期,烟秆堆肥促进烟株上部叶片的效果优于单施化肥,可明显增加烟株的叶片数、株高、腰叶面积、茎围和顶叶面积。李艳平等^[61]的研究表明,烟秆有机肥提高烤烟根系生物量和生理活性的效果优于化肥,移栽75 d后其根体积、根干重、根系活力和根系总吸收面积分别提高了60.77%、114.76%、53.12%和148.36%,同时显著提高了植株对磷、锌、铁、锰等矿质元素的吸收,增幅均大于30%,有效促进了烤烟生长和烟叶质量。

关于共堆肥产品,颜培强等^[62]研究发现,在整个烟草种植周期,施用烟秆和玉米秸秆共堆肥产品可减少15%专用肥的使用量,且气候斑和花叶病病情指数的降幅明显优于对照(常规施肥组),烟叶产量提高了6.3%。相比饼肥,有机物料与烟秆共堆肥产品的施用能够通过调控烟叶中还原糖的含量、氯离子含量以及K/Cl比提高烤烟烟叶的整体品质,且C/N高的堆肥产品的使用效果最好^[46]。在组合施肥效果评价方面,在酸性土壤中施加专用复合肥、提苗肥和追肥的基础上增施含烟秆有

机肥或秸秆有机肥的肥料组合对烟株团棵期农艺性状的改善效果优于加施商用有机肥、土壤调理剂(施地佳)、碱性肥料(生石灰、白云石粉)等组合肥料。其中,在烟草团棵期烟秆有机肥提升株高和茎围的效果最为显著,尽管打顶后各组合处理间的农艺性状无显著差异,但含烟秆有机肥的肥料组合处理后株高、茎围、叶宽和叶面积指标为最优^[45]。在施用常规肥料的基础上,加施烟秆和菜籽饼共堆肥产品早期能促进烟叶早生快发,后期有利于烟叶成熟落黄,能显著促进烤烟根系生长,降低病害发生,提升烟叶外观和内在质量,烟叶总糖、还原糖和上部叶烟碱的含量明显降低,烟叶总氮和氧化钾明显提高,烟叶光泽和油分显著增加,产量提高了6.2%^[63]。解晓菲等^[64]的研究也表明,烟秆堆肥与化肥配施更符合白肋烟生长的需肥规律,在上部烟叶提前成熟落黄和大田生育期缩短方面优于纯化肥处理,能有效促进烟叶的生长,增大烟叶的面积。施用烟秆生物有机肥能显著增加烟叶的产量和品质,烟叶产量、产值、中等烟比例分别提高了7.48%、14.07%和11.72%。张盼等^[65]的研究也表明,在有机、无机生物肥施用的基础上增施烟草堆肥后,烟叶产量提高了13.7%,且中上等烟比例提高了2%。耿明明等^[48]的研究显示,相比单施化肥,烟梗(末)有机肥与化肥配施的烟叶产量和中上等烟占比分别提高了4.82%和2.42%,效果与商品有机肥配施化肥相当,且烟叶钾和总糖含量也分别提高了22.51%和12.43%。

在病虫害防治方面,陈岗等^[66]研究发现,在烟田中施加烟草废弃物堆肥后,相比对照(不施加肥料),烟田中烟草炭疽病和赤星病发病株率、花叶病株率、两黑病发病株率分别下降了12%~15%、2%~3%和5%~7%。在与其他肥料配施后,烟秆堆肥的施用能够显著提高白肋烟的抗病性,青枯病发病率比对照(单施化肥组)降低了66.36%^[64]。耿明明等^[48]的研究表明,尽管烟梗(末)有机肥与商品有机肥均可有效降低烟草花叶病、青枯病、黑胫病及赤星病的发病率及病情指数,但烟梗(末)有机肥与化肥配施后的防治效果最好,且优于单施烟梗(末)有机肥,其中,对团棵期和现蕾期花叶病防治率为31.91%和55.76%,对现蕾期和成熟期黑胫病防治率分别为53.60%和36.68%,对成熟期青枯病、赤星病的防治率分别为41.09%和46.35%。

2.3.2 烟秆堆肥在其他作物种植中的效果 施用烟秆堆肥对其他作物(主要包括菜心、番茄、核桃、莴笋、玉米)种植影响的相关研究发现,相比单施有机肥,有机堆肥与无机肥配施的效果更好,这可能与有机肥迟效、缓效的特点有关,故有机堆肥多与无机肥配施。烟秆堆肥对玉米有促生作用,施用后玉米的株高、根长、叶长、叶宽、全重、茎重、根重以及根冠比等均显著增加^[17]。相比单施有机肥,与无机肥配施的效果更显著。李放^[34]的研究显示,烟秆与鸡粪共堆肥产品或与化肥配施提升菜心产量和质量的效果较好,其中配施效果最好,菜心干物质产量相比对照(不施肥料)提高了51.0%,且菜心的硝酸盐含量达到一级食品的要求。毛家伟等^[67]的研究显示,鸡粪和烟叶共堆肥产品施用后对番茄和黄瓜产量的提升效果优于单施鸡粪有机肥,相比对照(不施有机肥组),番茄和黄瓜可分别增产20.0%~22.8%和23.9%~29.6%。杨政明等^[68]研究发现,相比常规无机复混肥、烟草废弃物堆肥和农家肥,烟草废弃物堆肥中添加无机氮、磷、钾制成的有机无机复混肥促进核桃生长,提升核桃产量和质量的效果最好,产量比对照(施用当地常规农家肥组)提高了18.9%。王亚麒^[49]的研究发现,烟末有机堆肥与化肥配施对玉米、杨梅、花椰菜和辣椒产量及品质的提升效果显著优于单施化肥,其中玉米粒产量、粗蛋白和淀粉含量分别提高了10.11%、13.94%和13.75%,花椰菜的产量、粗蛋白和淀粉含量分别提高了15.57%、24.55%和23.51%,辣椒的产量、维生素C和硝酸盐含量分别提高了14.04%、38.36%和13.76%,杨梅的产量和维生素C含量分别提高了5.45%和4.77%。在液态有机肥效果评价方面,鲁贤等^[42]的研究发现,烟梗发酵后制成的滤液(水溶性肥料)可通过增加单株莴笋的重量和长度提升莴笋产量,产量分别比对照(不施肥组)和化肥组提高了20.4%和18.2%。

以上结果表明,烟草废弃物堆肥化利用对烟草和其他诸如菜心、番茄、核桃、莴笋、玉米等作物的产量和品质均有显著的提升效果,其中烟草源堆肥与化肥共同施用的效果最好,且优于单施化肥,具体表现为减肥增效、产量和品质明显提升,其中品质包括中上等烟叶比重、产品营养元素含量增加以及有害元素降低等方面。另外,在烟叶种植方面,烟草源堆肥的施用对烟田炭疽病、赤星

病、花叶病、青枯病、黑胫病等还具有显著的病虫害防治效果。

3 展望

烟草废弃物堆肥化制备技术主要有3种,分别是微生物菌剂添加技术、共堆肥技术和烟草堆肥原料的预处理技术。此外,还衍生出液态有机肥以及厌氧发酵联产有机肥两种技术。在堆肥肥效研究方面,目前主要是通过对土壤的物理、化学以及生物参数的全面调控来达到改良土壤的目的,且烟草源有机肥或单施或配施的效果通常优于其他秸秆有机肥。在土壤修复方面,烟草废弃物堆肥化以及堆肥产品的施用能够显著钝化原料及土壤中的重金属元素,降低其生物可利用性,二者共同作用进而提高了作物的产量和品质,其中烟草废弃物有机肥与化肥配施的方式对作物增产和提质的效果相对较好,也将是未来烟草源堆肥的主要利用方式。

针对烟草特种材料,各堆肥化技术路线研究的系统性还有待完善,如各烟区烟草废弃物的物质基础及堆肥化的适应性评价研究、烟草废弃物堆肥腐熟度的快速测定指标体系研究、堆肥化过程中微生物区系动态演变与堆肥有效养分和安全性评价之间的互作关系等尚不明确。另外,基于烟草堆肥菌剂商业化方面的考虑,如何在提高纤维素降解菌产酶量和酶活性的同时进一步降低菌剂的成本(生产和储运),还需体系化研究。但相比传统化肥,烟草源堆肥的整个产业链还受限于其较高的成本,尤其是烟田废弃物收集、储运、预处理等环节,在很大程度上影响了其产业化进程。在未来绿色循环生态农业的发展大势中,如何进一步提高堆肥产品的性价比乃至整个产业链的经济性仍旧是技术产业化推进的关键,其中,堆肥的多功能化或许是其创新利用的一个重要发展路径,即将堆肥产品与其他有机肥、无机肥、保水剂、有益微生物菌剂、生物农药等的一种或多种功能成分进行有机耦合,研发兼顾短期与长期效应、病虫害防治、抗旱保水、土壤改良与修复及作物品质产量提升等多重功能的新型产品,进而形成对传统化肥的比较优势,是未来学术界和产业界应关注的重要研究方向。

参 考 文 献

- [1] 王志勇,石春芳,冷小云,等.堆肥化技术在产业废弃物资源化中的应用[J].黑龙江农业科学,2016(2):147-150.
- [2] 董博逸,司文龙,王麒然.烟草秸秆综合利用与展望[J].湖北农机化,2020(3):69.
- [3] 张文静,佟晔,杨锡文,曹彦金,魏计东.高产中性蛋白酶菌株的筛选、优化及中试放大[J].生物技术进展,2022,12(1):112-119.
- [4] 韩非,王瑞.烟草秸秆生物有机肥产业化绿色发展的现状与策略[J].中国烟草学报,2016,22(3):126-132.
- [5] 杨雪梅,刘彦中,刘志莲,等.产漆酶菌株的筛选及其对烟秆降解效果的研究[J].中国农学通报,2014,30(7):52-57.
- [6] 王明旭,江维维,刘艳霞,等.废弃烟沫堆置发酵有机肥腐熟菌种的分离、筛选和鉴定[J].安徽农业科学,2014,42(33):11686-11690,11725.
- [7] 张占军,谢松,易卿,等.烟草废弃物腐熟发酵生物有机肥效果试验[J].农业科技通讯,2015(10):79-82.
- [8] 李放,唐莉娜,蔡海洋,等.废弃烤烟茎秆与鸡粪堆肥化利用的研究[J].农业环境科学学报,2009,28(1):194-198.
- [9] 刘国顺.烟草栽培学[M].第1版.北京:中国农业出版社,2003.
- [10] BRISKI F, HORGAS N, VUKOVIC M, *et al.* Aerobic composting of tobacco industry solid waste—simulation of the process[J]. Clean Technol. Environ. Policy, 2003, 5:295-301.
- [11] 邸慧慧,张燊,陶德欣,等.微生物添加剂对烟草废弃物堆肥进程理化指标的影响[J].湖北民族学院学报(自然科学版),2019,37(4):377-380.
- [12] 陈飞,杜龙龙,常瑞雪,等.添加烟草废弃物对堆肥腐熟度及抑制线虫作用的影响[J].中国农业大学学报,2014,19(6):102-106.
- [13] 闫智培,李纪红,李十中,等.木质素对木质纤维素降解性能的影响[J].农业工程学报,2014,30(19):265-272.
- [14] 张楠,刘东阳,杨兴明,等.分解纤维素的高温真菌筛选及其对烟秆的降解效果[J].环境科学学报,2010,30(3):549-555.
- [15] 黄小容.烟秆木质素高效降解菌的筛选、鉴定及降解效果研究[D].武汉:湖北大学,2016.
- [16] 梅金飞,刚利萍,余梅霞,等.烟草秸秆废弃物中纤维素降解菌的筛选、鉴定及产酶条件优化[J].烟草科技,2020,53(8):15-23.
- [17] 梅金飞.烟秆高效菌剂研发及其应用[D].阜阳:阜阳师范大学,2020.
- [18] LIANG Y, YUAN H L, YANG Y, *et al.* Enhanced lignin degradation in tobacco stalk composting with inoculation of white-rot fungi *trametes hirsuta* and *pleurotus ostreatus*[J]. Waste Biomass Valo, 2020, 11:3525-3535.
- [19] 李文豪.烟草秸秆有机肥的研制与土壤改良应用[D].武汉:湖北大学,2019.
- [20] 彭瀚辉.烟秆固态发酵降解研究[D].长沙:湖南农业大学,2016.
- [21] 伍良伟.降解烟碱微生物的筛选及在烟秆腐熟发酵中的应用[D].武汉:华中农业大学,2013.
- [22] 王瑞,施河丽,陈守文.烟碱降解菌的分离、鉴定及其在烟草秸秆发酵中的应用研究[C]//2015年度中国烟草学会优秀论文汇编.北京:中国烟草学会,2015:1212-1224.

- [23] BRISKI F, KOPCIC N, COSIC I, *et al.* Biodegradation of tobacco waste by composting: Genetic identification of nicotine-degrading bacteria and kinetic analysis of transformations in leachate[J]. Chem. Papers, 2012, 66(12): 1103-1110.
- [24] 张志玲,刘萍,孙君社,等. 利用废次烟草生产生物有机肥的工艺研究[C]//2004年北京食品学会论文集. 北京:北京食品学会,2004:184-187.
- [25] 高明,郭灵燕,席宇,等. 烟梗生物发酵制造有机肥[J]. 烟草科技,2010(12):57-60,65.
- [26] ZHAO G H, YU Y L, ZHOU X T, *et al.* Effects of drying pretreatment and particle size adjustment on the composting process of discarded flue-cured tobacco leaves[J]. Waste Manag. Res., 2017, 35(5):534-540.
- [27] 陈育如,骆跃军,李雪梅. 纸浆污泥和烟草废料的联合堆肥处理研究[J]. 江苏农业科学,2005(1):92-94.
- [28] 韩相龙,吴薇,赵鹏博,等. 不同碳氮比对烟梗与牛粪堆肥过程的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(16):303-307.
- [29] KOPCIC N, DOMANOVAC M V, KUCIC D, *et al.* Evaluation of laboratory-scale in-vessel co-composting of tobacco and apple waste[J]. Waste Manag., 2014, 34(2):323-328.
- [30] KOPCIC N, DOMANOVAC M V, DAKOVIC Z, *et al.* Composting of tobacco dust in different types of reactors[J]. Biochem. Eng. J., 2013, 27(1):57-64.
- [31] 何云龙,谢桂先,刘强,等. 添加鸡粪对烟草废弃物高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 湖南农业科学,2013(5):49-52.
- [32] 何云龙. 烟草废弃物快腐及其堆肥在玉米上的应用效果研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2013.
- [33] 竹江良,汤利,刘晓琳,等. 猪粪比例对烟草废弃物高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 农业环境科学学报,2010,29(4):779-784.
- [34] 李放. 烤烟茎秆对水体环境的影响及其堆肥化利用的研究[D]. 福州:福建农林大学,2007.
- [35] ADEDIRAN J A, MNKENI P N S, MAFU N C, *et al.* Changes in chemical properties and temperature during the composting of tobacco waste with other organic materials, and effects of resulting composts on lettuce (*Lactuca sativa* L.) and Spinach (*Spinacea oleracea* L.)[J]. Biol. Agric. Hort., 2004, 22:101-119.
- [36] WANG G Y, KONG Y L, LIU Y, *et al.* Evolution of phytotoxicity during the active phase of co-composting of chicken manure, tobacco powder and mushroom substrate[J]. Waste Manag., 2020, 114:25-32.
- [37] HERNER Ž, KUCIC D, ZELIC B. Biodegradation of imidacloprid by composting process[J]. Chem. Papers, 2017, 71:13-20.
- [38] PIOTROWSKA-CYPLIK A, OLEJNIK A, CYPLIK P, *et al.* The kinetics of nicotine degradation, enzyme activities and genotoxic potential in the characterization of tobacco waste composting[J]. Bioresour. Technol., 2009, 100(21):5037-5044.
- [39] 徐智,范茂攀,王宇蕴,等. 废烟末袋式堆肥基础工艺参数研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2013,28(4):607-611.
- [40] 赵桂红,冯玉杰. 叶梗比对烟草废弃物好氧堆肥腐熟度的影响[J]. 黑龙江科技大学学报,2018,28(3):334-339.
- [41] 赵桂红. 烟草废弃物堆肥过程控制及促腐研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.
- [42] 鲁贤,鲁蓉,王体艳,等. 烟梗有机肥对莴笋产量的影响[J]. 现代农业科技,2020(19):59-62,65.
- [43] LIU Y, DONG J X, LIU G J, *et al.* Co-digestion of tobacco waste with different agricultural biomass feedstocks and the inhibition of tobacco viruses by anaerobic digestion[J]. Bioresour. Technol., 2015, 189:210-216.
- [44] 樊俊,谭军,王瑞,等. 秸秆还田和腐熟有机肥对植烟土壤养分、酶活性及微生物多样性的影响[J]. 烟草科技,2019,52(2):12-18,61.
- [45] 姚珊珊,谢华东,王溶. 不同土壤改良方法对黔江植烟土壤养分和pH的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(34):196-198.
- [46] 韦建玉,寇智瑞,金亚波,等. 烤烟专用有机肥的优选及肥效验证[J]. 土壤,2020,52(3):464-469.
- [47] 施河丽,谭军,王兴斌,等. 烟草秸秆生物有机肥对植烟土壤交换性盐基的影响[J]. 中国烟草科学,2015,36(4):80-84.
- [48] 耿明明,赵建,贾瑞莲,等. 烟梗(末)有机肥对烟田土壤养分、病害发生及烟叶产质量的影响[J]. 烟草科技,2016,49(12):28-34.
- [49] 王亚麒. 烟末(梗)有机肥对玉米、杨梅、蔬菜产质量和土壤肥力的影响[D]. 重庆:西南大学,2017.
- [50] 金亚波,寇智瑞,韦建玉,等. 有机物料对黄壤烟田土壤团聚体组成及土壤肥力的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版),2020,42(8):9-16.
- [51] 陈红华,李富强,向必坤,等. 农业废弃物还田对植烟土壤物理性状及根结线虫病的影响[J]. 中国烟草科学,2019,40(4):37-41.
- [52] OKUR N, HUSNU H K, OKUR B, *et al.* Organic amendment based on tobacco waste compost and farmyard manure: influence on soil biological properties and Butter-head Lettuce yield[J]. Turkish J. Agric. For., 2008, 32(2):91-99.
- [53] ADEDIRAN J A, MNKENI P N S, MAFU N C, *et al.* Changes in chemical properties and temperature during the composting of tobacco waste with other organic materials, and effects of resulting composts on lettuce (*Lactuca sativa* L.) and Spinach (*Spinacea oleracea* L.)[J]. Biol. Agric. Hort., 2004, 22(2):101-119.
- [54] 周雯婧,伏林军,彭丽娟. 烟草废弃物快速堆肥过程中重金属Cd形态变化特征[J]. 环境保护科学,2017,43(5):120-123.
- [55] ZITTEL R, SILVA C P, DOMINGUES C E, *et al.* Availability of nutrients, removal of nicotine, heavy metals and pathogens in compounds obtained from smuggled cigarette tobacco compost associated with industrial sewage sludge[J/OL]. Sci. Total Environ., 2020, 699:134377[2022-06-11]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134377>.
- [56] GEBOLOGLU N, DURUKAN A, CETIN S C. Determination of heavy metal and nutrient contents and potential use of tobacco waste compost in vegetable seedling production[J]. Asian J. Chem., 2005, 17(2):829-834.
- [57] 吴曼,徐明岗,徐绍辉,等. 有机质对红壤和黑土中外源铅镉稳定化过程的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,30(3):461-467.
- [58] SEREMETA D C H, SILVA C P D, ZITTEL R, *et al.* Pb²⁺ adsorption by a compost obtained from the treatment of tobacco from smuggled cigarettes and industrial sewage sludge[J]. Environ. Sci. Poll. Res. Int., 2019, 26(1):797-805.
- [59] 高福宏,周佳,詹筱国,等. 废弃烟叶有机肥对土壤Cd有效态和辣椒中累积的影响[J]. 安徽农业科学,2013,41(6):2436-2438.

- [60] 高福宏,周佳,詹菡国,等.废弃烟叶有机肥对土壤铅有效态及在甘蓝中积累的影响[J].湖北农业科学,2013,52(23):5705-5707.
- [61] 李艳平,任天宝,李建华,等.烟秆有机肥对烤烟根系发育和矿质元素含量的影响[J].中国烟草科学,2016,37(6):21-26.
- [62] 颜培强,迟鹏,关鑫,等.哈尔滨烟田生物质材料生化处理技术应用[J].黑龙江科学,2020,11(4):36-37.
- [63] 易克,孙康,杨文蛟,等.烟秆-菜籽饼有机肥对烤烟生长发育及产量质量的影响[J].湖南农业科学,2018(11):50-52.
- [64] 解晓菲,孔伟,向炳青,等.烟秆生物有机肥与化肥配施对白肋烟的影响[J].湖北农业科学,2012,51(2):240-242.
- [65] 张盼,谢松,易卿,等.烟草废弃物腐熟发酵生物有机肥在烟草种植上的应用效果研究[J].农业科技通讯,2016(2):113-115.
- [66] 陈岗,董继翠,王跃金,等.利用烟田废弃生物质生产生物有机肥的可行性研究[J].安徽农业科学,2016,44(5):159-160,168.
- [67] 毛家伟,张翔,孙春河.烟叶下角料有机肥对番茄和黄瓜生长发育的影响[J].安徽农业科学,2008(25):10983-10984.
- [68] 杨政明,尚海丽.烟草废弃物生产新型生物有机肥、有机无机复混肥对核桃生长的影响[J].云南农业科技,2012(6):4-6.