



马富亮,孙昱,彭祚登,等.城镇排水污泥制生物碳土在农林业中的应用研究进展[J].黑龙江农业科学,2021(8):117-122,123.

# 城镇排水污泥制生物碳土在农林业中的应用研究进展

马富亮<sup>1</sup>,孙昱<sup>2</sup>,彭祚登<sup>2</sup>,熊建军<sup>1</sup>,姚海<sup>1</sup>,崔超<sup>1</sup>,唐胶<sup>2</sup>

(1.北京城市排水集团有限责任公司,北京100124;2.北京林业大学林学院,北京100083)

**摘要:**为进一步促进城镇排水污泥的资源化利用,本文对近年来国内外污泥制生物碳土在农林业领域应用的相关文献进行了整理,指出了污泥制生物碳土的生产方式和特点,系统地总结了施用污泥制生物碳土后对土壤理化性质和土壤中微生物及酶活性的影响,分析了农作物、草坪草、花卉及树木4类植物使用生物碳土后的生长效果。在此基础上提出了在农林生产中利用污泥制生物碳土现阶段仍需要解决的问题以及未来的发展方向。

**关键词:**城镇排水污泥;生物碳土;农林业生产;应用效果

城镇排水污泥为城镇污水处理厂在处理污水过程中产生的固态、半固态废弃物,其中包含大量的病原菌、寄生虫卵、重金属等有毒有害物质,组成成分极其复杂,是污水中各种有毒有害物质的集合体,具有体积大、含水量高等特点<sup>[1]</sup>。随着我国经济的发展及城镇化进程的加快,城市工业污水和生活污水的排放量日益增多,随之产生的污泥量也在不断增加。据统计,截至2020年6月,我国城市年产生污泥量共计5000多万t(以含水率80%计,不含工业污泥),预计到2022年将突破8909万t<sup>[2]</sup>。城镇污水处理率在2017年达到95%,但调查结果显示,污水处理厂产生的污泥中有70%均未得到妥善处理,“重水轻泥”现象较为突出,且污泥处置成本居高不下,约占污水处理厂总投资的30%~50%。由此可见,污泥的处理已经成为当前城镇污水处理厂面临的严峻问题,如若处理不当,势必会造成对环境的二次污染<sup>[3]</sup>。

目前国内外对污泥的处理方法主要为干化、脱水、填埋、焚烧、浓缩等方式相结合,发展最成熟的是污泥填埋、焚烧、堆肥等。污泥填埋是将处理污水产生的污泥进行统一回收,灭菌后集中运输到偏远低洼区域进行填埋处理,此种方式成本低、

效果好,但占据空间大,影响城市土地规划,且随着时间的推移,易造成有害物质的下渗,污染土壤和地下水资源<sup>[4]</sup>。污泥焚烧是在高温下燃烧污泥,除去其中的水分、有机物与病原菌,能够最大限度减小污泥的体积<sup>[5]</sup>,但污泥焚烧会产生大量灰分物质,不利于生态环保且处理费用偏高,难以实现大面积推广<sup>[6]</sup>。城市污泥中含有较为丰富的有机质及氮、磷、钾等营养元素,与普通土壤相比,可以更好地促进树木的生长,采用无害化污泥处理工艺将其进行堆肥,能够有效控制其中的病原体含量,且加工成本低,实用性强,在土地利用方面具有广阔的应用前景<sup>[7]</sup>。结合我国国情,立足经济性与实用性角度,对污泥进行堆肥处理,变废为宝,进行土地的资源化利用将成为污泥处理的主要发展方向,而污泥制生物碳土就是城镇排水污泥为了实现资源化利用而加工产出的产品形式<sup>[8]</sup>。本文通过文献分析法从生产及特点、对土壤及植物的影响几个方面对污泥制生物碳土的应用进行了系统的总结,指出当前存在的问题并进行展望,旨在为污泥制生物碳土的合理利用的相关研究提供科学依据。

## 1 城镇排水污泥制生物碳土的生产及特点

### 1.1 城镇排水污泥制生物碳土的生产

污泥制生物碳土是指人工参与控制,使城市排水污泥中不稳定的有机质在微生物的发酵作用下,逐步降解和转化为腐殖质,此过程可有效杀死污泥中的病原菌与寄生虫卵,降低挥发性物质含

收稿日期:2021-04-19

基金项目:国家发改委环境污染第三方治理“北京市污泥资源化苗圃种植项目”;北京排水集团污泥资源化苗圃种植项目(2017HXFWLXY023)。

第一作者:马富亮(1985—),男,博士,工程师,从事固废资源化研究。E-mail:flma0620@163.com。

通信作者:彭祚登(1964—),男,博士,副教授,从事森林培育研究。E-mail:zuodeng@sina.com。

量,同时在一定程度上消除恶臭。其生产工艺需满足污泥处理的无害化、减量化和资源化工作目标<sup>[9]</sup>。

目前,将污泥进行堆肥是获取污泥制生物碳土的主要途径,国内外对污泥堆肥技术的研究已经较为成熟。污泥堆肥根据不同的微生物生长环境,可以将堆肥过程分为好氧堆肥和厌氧堆肥两种。相较于厌氧堆肥,好氧堆肥周期较短,有机物分解速度更快,降解程度更为彻底,且在加工过程中不会产生恶臭,因此现代化的堆肥工艺一般均采用好氧堆肥方式<sup>[10]</sup>。

## 1.2 城镇排水污泥制生物碳土的特点

污泥制生物碳土具有质地疏松、容重较小、养分含量高等特点,能够促进植物的生长,还可以改善土壤的物理、化学性质,是良好的土壤改良剂<sup>[11]</sup>。以北京市排水集团高碑店再生水厂为例,其生产的经堆肥工艺制得的污泥制生物碳土,结构松散,颗粒细小均匀,呈黑褐色,经检验其总养分[全氮(N)+全磷( $P_2O_5$ )+全钾( $K_2O$ )]、有机质、镉(Cd)、铬(Cr)、铅(Pb)、砷(As)、蛔虫卵、大肠杆菌等指标含量均符合现行资源化利用的标准要求<sup>[12]</sup>。

将城市排水污泥进行加工处理后制成生物碳土施用,旨在避免城市污泥对环境的二次污染,实现污泥的资源化利用,同时也能为农林业等以土地资源为主要生产要素的领域,提供充足的土壤改良剂,缓解肥料短缺现状,实现可持续发展<sup>[11]</sup>。

## 2 城市排水污泥制生物碳土在农林业生产中应用效果

### 2.1 施用污泥制生物碳土对土壤的影响

2.1.1 对土壤物理性质的影响 土壤水为植物生长提供必要的水分供给,是影响植物生长的重要因素,也是土壤的重要组成部分和重要性质之一<sup>[13]</sup>。污泥颗粒细小,具有较低的渗透率,EI-Nahhal等<sup>[14]</sup>、Verlicchi等<sup>[15]</sup>将污泥施入土壤后,该土壤较一般的土壤具有更高的持水量和含水量;Chen等<sup>[16]</sup>通过试验得出,施用污泥堆肥能够促进土壤团聚体的形成,进而提高土壤团聚体的稳定性和保水保肥能力;Epstein等<sup>[17]</sup>研究发现,将污泥堆肥施入土壤后,土壤的保水储水能力有明显提高,能够有效缓解干旱期对植物的水分胁迫影响。

土壤容重和孔隙度均是衡量土体结构的重要参数。土壤容重越小,则表示土质越疏松,结构性良好;土壤孔隙度与土壤透水、透气性、导热性密切相关<sup>[18]</sup>。Mondal等<sup>[19]</sup>研究表明,施用污泥能够显著降低0~15 cm土层的土壤容重,当施用量为 $15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,土壤容重较对照降低了14%;Tejada等<sup>[20]</sup>试验发现,污泥堆肥的施用增加了土壤孔隙度,有效降低了土壤地表板结;张增强等<sup>[21]</sup>、Mays等<sup>[22]</sup>均开展过污泥堆肥的施用试验,结果显示随着污泥堆肥施用量的增加,土壤容重逐渐降低,而孔隙度逐渐增加。

2.1.2 对土壤化学性质的影响 土壤电导率能够反映土壤水溶性盐含量,是判断植物生长是否受土壤中盐离子胁迫的重要指标。前人研究指出,当土壤电导率超过 $3\ 000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 时,可能会对植物的生长产生抑制作用<sup>[23]</sup>。杨桐桐等<sup>[24]</sup>通过盆栽试验研究了城市污泥堆肥产品的施用效果,结果表明随着污泥堆肥施用比例的提高,土壤电导率也随着显著提高,当施用比例达到50%时,土壤电导率值升至 $2\ 314\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,但随着试验时间的延长,土壤电导率升高至峰值后开始迅速下降,施用污泥给土壤带来的盐度风险逐渐减弱,因此在污泥施用过程中需要密切专注土壤电导率值的变化情况。

pH是重要的土壤化学性质指标之一,能够直接反映出土壤的酸碱度情况,过高或过低均会抑制植物的生长。王晓辉等<sup>[25]</sup>通过大田玉米试验,将堆肥污泥以不同的添加比例施用于pH本底值为8.75的中度盐碱化土壤中,结果表明随着堆肥污泥施用量的增加,土壤pH显著降低,当污泥堆肥施入比例在40%~60%时,土壤pH在7.15~7.38,属于玉米生长的最适pH范围内,与唐银健等<sup>[26]</sup>在改良碱性滩涂土时施用堆肥污泥所取得的结果相似。

生物碳土富含N、P、K等营养元素,能为土壤带来充分的养分补给,提高土壤的营养物质含量。徐瑾等<sup>[27]</sup>研究发现,将脱水污泥施用于沙化土壤之后,土壤中的有机质、氮、磷含量也逐渐增加;辛涛等<sup>[28]</sup>通过盆栽试验发现,施用污泥堆肥能够显著提升土壤的有机质、全氮、全磷含量,当污泥堆肥施用量为30,60,90和 $120\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,土壤中有有机质、全氮、全磷含量较未施污泥对照组的

增幅分别达到 32.5%~52.1%、32.0%~95.3%、75.4%~236.3%,各养分含量均有极显著提升。

土壤中重金属元素的过度积累易造成环境污染,而城镇排水污泥中的重金属含量是其土地利用的限制因素,这一问题在国内外也备受关注。司莉青等<sup>[29]</sup>通过盆栽试验发现,污泥的短期施用基本不会造成土壤的重金属污染,但若施用周期长则需慎重考虑施用污泥后重金属带来的环境风险;Cogger 等<sup>[30]</sup>在土壤中连续 7 年施用城市污泥,结果表明在土壤纵剖面上,重金属基本均集中在表层土壤,迁移速度较慢;此外还有 Williams 等<sup>[31]</sup>研究表明,如果将污泥林地施用量控制在  $4.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  范围以内,污泥中含有的重金属元素就基本不会对植物、土壤以及地下水产生不良影响。

**2.1.3 对土壤中微生物及酶活性的影响** 土壤中微生物与酶参与土壤中各种生物化学过程,其活性能够反映土壤生态状况下生物化学过程的相对强度,是评价土壤肥力的重要指标之一。胡自航等<sup>[32]</sup>采用随机区组试验设计,研究了城市污泥在人工林地施用 2 年后土壤微生物活性的变化,结果表明施用污泥堆肥 2 年后,土壤酶和微生物碳氮随污泥施用量的增加无明显变化趋势,但经污泥施用处理的样地的土壤酶指数和土壤呼吸强度均比未施污泥对照样地高,表明了污泥堆肥的施用能够提高土壤微生物酶活性。杨长明等<sup>[33]</sup>通过盆栽试验展开添加污泥对巢湖流域废弃矿区土壤微生物特性的影响试验,结果表明在整个试验阶段,添加不同方式处理污泥后土壤中的脱氢酶、转化酶、脲酶、磷酸酶活性始终显著高于对照组。还有学者连续 3 年进行施用消化污泥的土柱试验得出,污泥的施用增加了苗圃土壤微生物的生物量和代谢活性,与无添加污泥的对照组相比,微生物生物量碳增加了 207%,脲酶和碱性磷酸酶活性分别增加了 118%和 102%<sup>[34]</sup>。

## 2.2 施用污泥制生物碳土对植物生长的影响

**2.2.1 对农作物生长的影响** 污泥制生物碳土是对资源合理利用的产物,它不仅可以作为良好的土壤改良剂,还可作为一种缓释肥,为作物的生长发育提供养分,改良作物的生长状态,促进作物产量的提高。王新等<sup>[35]</sup>应用城市污泥进行

试验研究,结果表明当污泥施用量为 2.25 和  $4.50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  时,水稻的各项生长指标均明显好于对照组,说明适量施用污泥能够促进水稻的生长发育,但超过这个施用量,则会使作物的生物产量降低;李文忠等<sup>[36]</sup>研究了污泥堆肥对夏玉米的影响,发现施用污泥堆肥能够提高夏玉米的产量,相较于空白对照组,夏玉米的产量增加率为 5.4%~18.3%,且夏玉米籽粒尚清洁,重金属含量虽略有增加但均低于安全限值。

除了对作物种植影响的研究以外,污泥制生物碳土还常被用于蔬菜的生长过程中。史弋等<sup>[37]</sup>开展室内盆栽试验,结果表明当污泥添加量为 3%~10% 时,能够明显促进白菜的发芽,且白菜植株的株高、根长均明显高于对照组,表明污泥的施用为沙质土壤带来了养分,有利于白菜植株积累有机质;邵蕾等<sup>[38]</sup>以油菜为试验材料,通过盆栽试验研究不同量污泥有机肥的施用效果,结果显示污泥有机肥对油菜增产效果显著,当施用量超过  $200 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$  时增产效果不明显;王社平等<sup>[39]</sup>将研究不同量城市污泥堆肥的施用对青椒生长的影响,结果指出适量污泥堆肥的施用能够增加青椒的植株总干重并提高青椒的果实产量。这些研究均表明,一定量污泥制生物碳土的施用,可以促进蔬菜的生长,提升蔬菜的产量。

**2.2.2 对草坪草生长的影响** 施用污泥制生物碳土能够促进草坪草的生长,改善草坪质量。田波<sup>[40]</sup>探究了污泥堆肥在草坪绿地上的施用效果,结果表明污泥堆肥的施用能够提高草坪草地下生物量,促进草坪的生长;崔丽芳<sup>[41]</sup>采用污泥提取液参与狗牙根、台湾青、黑麦草、高羊茅、马尼拉 5 种草坪草的生长进程后发现,污泥提取液对 5 种草坪草的株高、生长速度、生物量和叶绿素等方面均具有明显的促进作用;于安东<sup>[42]</sup>采用裂区设计展开试验,结果显示施用污泥可以在一定程度上减弱干旱对植物光合作用的有害影响,缓解植物叶片净光合速率的下降速度,从而提高黑麦草的耐旱能力。

污泥制生物碳土除了在草坪草生长和成坪方面具有一定促进作用,在草坪草种子萌发方面同样具有一定的影响。王乐等<sup>[43]</sup>盆栽试验结果表明,复合配方基质中污泥占比为 40% 时,三叶草种子的萌发效果最佳,发芽势、发芽率、发芽指数

与活力指数相比普通土壤处理组的分别提高了3.0%、2.0%、1.5%和1.2%;而邵海林等<sup>[44]</sup>采用培养和盆栽试验方法研究得出,城市排水污泥的施用对草坪草种子的发芽具有暂时性而非永久性的抑制作用,抑制作用的强弱与所施污泥中有机质的含量表现为显著正相关关系。

2.2.3 对花卉植物生长的影响 污泥制生物碳土是城市排水污泥经一系列无害化处理后加工而成的产品,经检测其各项指标均符合国家规定的卫生标准,将污泥作为栽培基质应用于花卉的栽植过程中,既减少了污泥带来的污染,又能够充分利用污泥的价值,利于实现成本节约与绿色发展的目标。陈祥等<sup>[45]</sup>通过开展完全随机区组盆栽试验,发现施用污泥对促进一串红、矮牵牛和孔雀草3种花卉的生长和品质的提高具有明显的作用,当污泥施用量分别为50%(一串红)、37.5%(矮牵牛和孔雀草)时,3种花卉的花穗数、穗长、冠幅、株高及地上生物量均达到最高值;周磊等<sup>[46]</sup>研究表明,施用堆沤污泥能够促进万寿菊的生长,提其观赏性,万寿菊的总生物量、分枝数和花朵数较纯土壤种植组分别高出了274.96%、50.00%和89.47%,同时万寿菊的叶绿素含量和冠幅也有所提高;杨涛等<sup>[47]</sup>也得出了相似的结论,通过对花卉植物生长状况和生理指标的考察发现,污泥的施用对凤仙花和万寿菊后期的生长促进作用明显,主要表现为花卉开户状况、株高、叶绿素、可溶性糖和丙二醛等指标均显著优于对照组;此外,还有唐艺荣<sup>[48]</sup>研究施用污泥堆肥对非洲菊生长性状的影响,通过试验找到最适宜非洲菊生长的污泥堆肥基质配方:50%污泥堆肥+20%河沙+30%珍珠岩和60%污泥堆肥+20%河沙+20%珍珠岩。

除了应用于花卉栽植过程,污泥制生物碳土还可作为缓释肥施于园林灌发现木用地,以促进花灌木的生长。张增强等<sup>[49]</sup>发现施入污泥堆肥后,木槿和月季的花期分别比未施污泥对照组及NPK处理组的长6~11 d、7~12 d和5~10 d、8~13 d,开花量、花瓣数和平均花径等指标也均显著高于对照组;赵广琦等<sup>[50]</sup>在大田条件下,对12种花灌木进行污泥堆肥的施用试验,结果表明相较于空白对照,污泥堆肥干重施用比例为2.5%、5.0%、7.5%时,12种花灌木的株高、冠幅

均有不同程度的增加,5.0%处理为各花灌木的最适宜污泥施用比例,且污泥堆肥的施用对各种花灌木的开花质量、结果习性等也均有一定的促进作用。

2.2.4 对树木生长的影响 将污泥进行土地利用,能够改善土壤的理化性质,为植物的根系生长提供良好的外部环境,因此污泥的土地利用势必会对树木的生长产生正效应。现阶段,国内外关于污泥在树木生长方面的应用已有较多研究。刘学娅等<sup>[51]</sup>将城市污泥用于边坡植物恢复,研究结果显示,污泥用于边坡生态修复效果良好,施加污泥坡面植物总盖度较对照高出30%,臭椿株高较对照高出25%;Benbrahim等<sup>[52]</sup>研究发现,施用污泥能够显著促进林木的生长发育进程,且林木生长区域偏远,可有效避免危害公共健康,适宜长期施用;张天红等<sup>[53]</sup>选取杨树、泡桐和油松林地,在施用污泥一年后发现,随着污泥施用量的增加,3种树木的树高、地径也随之不断增加;Nicholos等<sup>[54]</sup>进行了污泥堆肥的施用试验后发现,相较于未施污泥对照组,黄杨、松树等林木的树高、胸径、生物量在34和68 t·hm<sup>-2</sup>的堆肥污泥施用量下均有较大幅度提升,其中树高增加了0.46~4.89倍,直径增加了0.50~4.53倍,生物量增加了0.42~6.61倍;Kimberlaya等<sup>[55]</sup>对松树进行污泥的施用试验,生长5年后,经污泥施用处理的松树较未施污泥的松树胸径大1 cm,表明了污泥堆肥能够促进松树的生长;薛栋森等<sup>[56]</sup>进行了野外林地污泥施用试验,结果显示污泥的施用能够使树木的平均胸径较对照增加56%~76%。

除了将污泥施用于林地,还可将污泥按比例进行配比用作栽培基质。李艳霞等<sup>[57]</sup>进行过国槐与刺槐苗的盆栽试验,当育苗基质中配比50%~70%污泥堆肥时,苗木的生长得到明显的促进,主要表现为叶片生长期得到延长,相较于未施污泥对照,国槐和刺槐苗的株高和地径分别增长34.1%~51.3%和8.3%~20.8%;李彩群等<sup>[58]</sup>将7种不同配比的城市污泥堆肥栽培基质用于锦紫苏的种植,结果表明当污泥占比为40%时,锦紫苏的株鲜重、最大叶宽、株高、最大叶长、冠幅等均达到最高水平,且均显著高于对照组;储双双等<sup>[59]</sup>通过210 d的盆栽试验,研究污泥添加量为0、25%、50%、75%、100%时对黄梁木幼苗

生长的影响,试验结果发现污泥堆肥的施用对黄梁木的生长具有显著影响,100%污泥添加量下的苗木无法正常生长,而25%、50%和75%污泥施用处理则能显著增加黄梁木幼苗的株高、地径和总生物量。

由此可见,施用污泥制生物碳土可以显著促进林木的生长,且与农用相比,生物碳土林用有着不可替代的优势,能够在为林木提供生长养分的情况下,避开人类食物链,更好地实现污泥资源化利用的目标。

### 3 结语

现阶段,虽然我国已有许多针对污泥制生物碳土的研究,但相较于国外来说,各方面尚处于起步阶段。传统将污泥直接进行堆肥的处理工艺,制得的污泥产品仍存在含水量高,异味重等问题,近年来随着高级厌氧消化技术的兴起,为上述问题的解决提供了出路,即采用高温热水解预处理,显著提升污泥的脱水性能,产出的污泥产品能够更好地实现污泥资源化利用的目标,且现已在美国华盛顿特区水务项目中进行了应用,并取得了良好的收益。但目前国内对于高级厌氧消化新技术制成的污泥产品在农林业的应用研究鲜有报道,需要进一步研究和探讨。

在污泥资源化利用过程中,还需关注污泥中重金属元素的存在、部分污泥堆肥电导率高以及污泥中的硝酸盐问题,其中重金属元素作为污泥土地利用的最主要限制因素,对土壤环境与植物的生长具有隐蔽性及滞后性影响,难以消除且其对植物的影响会随着污泥中该元素的增加而增加,因此,需要将重金属元素作为污泥中有机污染物的主要代表,进行客观看待,同时也需要对施入污泥后的土壤与植株进行持续监测并定期作好环境风险评价<sup>[60-61]</sup>。

总而言之,将污泥进行加工处理应用于农林业生产,是促进污泥废弃物进入绿地、变废为宝的有效消纳途径,污泥堆肥作为一种极具潜力的资源,需要科学利用,充分发挥其作用,为祖国绿水青山的构建助力。

### 参考文献:

[1] 孙娟. 城市污水处理厂污泥中重金属污染治理方法研究进展[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(10): 110-111, 114.  
[2] 王艳语, 苗俊艳, 侯翠红, 等. 城市污泥热解及其固体残渣资源化利用[J]. 化工矿物与加工, 2020, 49(12): 41-45.

[3] 王一冰, 王德英. 污泥厌氧资源化利用积累 SCFA 的新策略及作用机制[J]. 水处理技术, 2021(1): 91-94.  
[4] 李萍萍. 污水处理中污泥资源化的利用途径[J]. 清洗世界, 2020, 36(11): 50-51.  
[5] 俞珏瑾. 污泥干化焚烧处理工艺和设计要点[J]. 中国市政工程, 2009(3): 64-66.  
[6] 戴晓虎. 我国污泥处理处置现状及发展趋势[J]. 科学, 2020(6): 30-34.  
[7] 孔祥锐, 宋冠楠. 城市污泥处理处置方式对比[J]. 山西建筑, 2011, 37(21): 113-114.  
[8] 曹立业, 侯晓爽. 城镇污水处理厂剩余污泥资源化处置途径分析[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(9): 126-128.  
[9] 杨裕起. 城市污泥处理处置技术研究进展[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(2): 223, 231.  
[10] 牛国祥, 朱豪, 姚雨伽, 等. 污泥堆肥工艺及其应用前景[J]. 广东化工, 2020, 47(11): 142-143.  
[11] 邢永杰, 马伟芳, 陈国伟, 等. 北京市污泥处置现状与生态利用研究[J]. 中国给水排水, 2012, 28(4): 31-34.  
[12] 马雄威, 马伟芳, 郭浩, 等. 污泥制生物碳土在废弃矿山修复中的生态利用研究[C]// 中国给水排水杂志社. 2012 中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会论文集. 大连, 2012.  
[13] 李慧君, 殷宪强, 谷胜意, 等. 污泥及污泥堆肥对改善土壤物理性质的探讨[J]. 陕西农业科学, 2004(1): 29-31.  
[14] EI-NAHHAL I Y, AI-NASSER H, EI-NAHHAL Y. Physicochemical properties of sewage sludge from Gaza[J]. International Journal of Geosciences, 2014, 5(6): 586-594.  
[15] VERLICCHI, ZAMBELLO E. Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil-A critical review[J]. Science of the Total Environment, 2015, 538: 750-767.  
[16] CHEN H F, XU W P, LIU J L, et al. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turf-grass growth[J]. Ecological Engineering, 2007, 29(1): 96-104.  
[17] EPSTEIN E, TAYLOR J M, CHANEY R L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties[J]. Journal of Environment Quality, 1976, 5(4): 422-426.  
[18] 姚甜甜, 聂晓刚, 张鹏, 等. 冻融作用对藏东南高寒区土壤容重、孔隙度的影响[J]. 高原农业, 2020, 4(4): 386-391.  
[19] MONDAL S, SINGH R D, PATRA A K, et al. Changes in soil quality in response to short-term application of municipal sewage sludge in a typic haplustept under cowpea-wheat cropping system[J]. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 2015, 4: 37-41.  
[20] TEJADA M, GONZALEZ J L. Influence of organic amendments on soil structure and soil loss under simulated rain[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93(1): 197-205.  
[21] 张增强, 薛澄泽. 几种草本植物对污泥堆肥的生长响应[J]. 西北农业大学学报, 1996(1): 65-69.  
[22] MAYS D A, TERMAN G L, DUGGAM J C. Municipal compost: Effect on crop yield and soil properties[J]. Envi-

- ronment Quality,1973,2(1): 89-92.
- [23] AMIR S, HAFIDI M, MEDINA G, et al. Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge[J]. Chemosphere, 2005, 59(6): 801-810.
- [24] 杨桐桐, 封莉, 张立秋. 城市污泥堆肥产品施用对沙荒地土壤理化性质及高茅茅生长的影响[J]. 环境工程学报, 2017, 11(4): 2462-2468.
- [25] 王晓辉, 赵可, 张小雨, 等. 堆肥污泥对盐碱土特性和玉米生长的影响研究[J]. 资源节约与环保, 2019(3): 17, 21.
- [26] 唐银健, 陈玲, 程五良, 等. 施用污泥堆肥对滩涂土壤理化性质的影响[J]. 四川环境, 2006(6): 13-16.
- [27] 徐瑾, 王伟. 拉萨污水处理厂污泥对沙化土壤改良效果[J]. 环境工程学报, 2018, 12(6): 1743-1748.
- [28] 辛涛, 白莉萍, 宋金洪, 等. 施用城市污泥对杨树土壤化学特性及金属含量的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2722-2727.
- [29] 司莉青, 陈利民, 郑景明, 等. 城市污泥与园林废弃物堆肥混合添加对土壤改良的影响[J]. 草业科学, 2018, 35(1): 1-9.
- [30] COGGER C G, BARY A I, FRANSEN S C, et al. Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue [J]. Journal of Environment Quality, 2001, 30(6): 2188-2194.
- [31] WILLIAMS D E, VLAMIS J, PUKITE A H, et al. Trace element accumulation, movement, and distribution in the soil profile from massive applications of sewage sludge[J]. Soil Science, 1980, 129(2): 119-132.
- [32] 胡自航, 赵霞, 董晓芸, 等. 污泥与园林废弃物混合堆肥施用量对林地土壤重金属质量分数及微生物活性的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38(1): 31-37.
- [33] 杨长明, 牛京会, 王德顺, 等. 不同方式处理污泥对废弃矿区土壤微生物的影响[J]. 中国给水排水, 2019, 35(23): 114-119.
- [34] 杨长明, 范博博, 荆亚超. 厌氧消化污泥对退化苗圃土壤的改良效果研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2018, 46(1): 74-80.
- [35] 王新, 陈涛, 梁仁禄, 等. 污泥土地利用对农作物及土壤的影响研究[J]. 应用生态学报, 2002(2): 163-166.
- [36] 李文忠, 何春利, 常国梁, 等. 污泥堆肥农用小区种植试验研究[C]//北京市水科学技术研究院. 北京水问题研究与实践. 北京: 中国水利水电出版社, 2018.
- [37] 史弋, 王宇翔, 夏瑜, 等. 污泥改良沙质土壤合适配比及对白菜生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(5): 136-139.
- [38] 邵蕾, 王丽霞, 马元民, 等. 污泥有机肥在油菜上的应用研究[J]. 北方园艺, 2013(23): 178-180.
- [39] 王社平, 程晓波, 姚岚, 等. 施用城市污泥堆肥对土壤和青椒重金属积累的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(9): 1829-1836.
- [40] 田波. 污泥好氧性堆肥及在草坪绿地上应用效应研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [41] 崔丽芳. 污水处理厂剩余污泥提取液在园林绿化中的应用研究[D]. 贵阳: 贵州民族大学, 2020.
- [42] 于安东. 施用污泥对多年生黑麦草抗旱生理及基因表达的影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
- [43] 王乐, 李华峰, 李欣, 等. 城市污泥与锯末复配基质对三叶草种苗的影响[J]. 城市环境与城市生态, 2016, 29(5): 20-22, 27.
- [44] 邵海林, 李娜, 王晓红. 生活垃圾和污泥对草坪草生长的影响[J]. 太原科技, 2005(S2): 3-5, 8.
- [45] 陈祥, 包兵, 张晓艳, 等. 不同种类污水污泥对三种花卉生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2009(2): 60-62.
- [46] 周磊, 白向玉, 周广慧, 等. 剩余污泥对万寿菊生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(4): 169-171.
- [47] 杨涛, 林逢凯, 陈秀荣, 等. 污水处理厂剩余污泥对凤仙花和万寿菊生长的影响[J]. 环境污染与防治, 2014, 36(9): 41-46.
- [48] 唐艺荣. 城市污泥堆肥用于非洲菊无土栽培的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2002.
- [49] 张增强, 薛澄泽. 污泥堆肥对几种花卉的生长响应研究[J]. 环境污染与防治, 1996(5): 1-4.
- [50] 赵广琦, 沈烈英, 王智勇, 等. 城市污泥堆肥对 12 种花灌木生长的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(5): 87-90.
- [51] 刘学娅, 冷平生, 刘丽娟, 等. 城市污泥作为边坡植物生长基质的效果分析[J]. 北京农学院学报, 2017, 32(2): 50-55.
- [52] BENBRAHIM M, DENAIX L, THOMAS A L, et al. Metal concentrations in edible mushrooms following municipal sludge application on forest land[J]. Environmental Pollution, 2006, 144(3): 847-854.
- [53] 张天红, 薛澄泽. 西安市污水污泥林地施用效果的研究[J]. 西北农业大学学报, 1994(2): 67-71.
- [54] NICHOLS C G. US forestry uses of municipal sewage sludge[J]. Alternative Uses for Sewage Sludge, 1991: 155-165.
- [55] KIMBERLEY M O, WANG H L, WILKS P J, et al. Economic analysis of growth response from a pineplantation forest applied with biosolids[J]. Forest Ecology and Management, 2004, 189(1-3): 345-351.
- [56] 薛栋森. 美国污水污泥的研究和利用概况[J]. 农业环境与发展, 1991(1): 31-33.
- [57] 李艳霞, 薛澄泽, 陈同斌. 污泥和垃圾堆肥用作林木育苗基质的研究[J]. 农村生态环境, 2000(1): 61-64.
- [58] 李彩群, 尚卫辉, 梁华祖, 等. 城市污泥栽培基质种植锦紫苏第二茬效果分析[J]. 肇庆学院学报, 2020, 41(2): 41-46.
- [59] 储双双, 童馨, 王文瑞, 等. 污泥堆肥对黄梁木幼苗生长和元素吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1550-1556.
- [60] 赵霞, 胡自航, 郑景明, 等. 污泥与园林废弃物混合堆肥对波斯菊生长及重金属积累的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(3): 810-817.
- [61] 陈同斌, 黄启飞, 高定, 等. 中国城市污泥的重金属含量及其变化趋势[J]. 环境科学学报, 2003(5): 561-569.



唐仁勇,蔡婧,郭秀兰,等. 抗寄生虫药物在畜禽产品中的残留危害及安全控制对策[J]. 黑龙江农业科学,2021(8):123-128.

# 抗寄生虫药物在畜禽产品中的残留危害及安全控制对策

唐仁勇,蔡婧,郭秀兰,王卫,刘达玉

(成都大学 食品与生物工程学院,四川 成都 610106)

**摘要:**抗寄生虫药物在寄生虫病防控方面起着重要作用,但药物残留问题亦不容忽视,现阶段我国畜产品中抗寄生虫药残留检测结果总体稳中可控,但部分产品药物残留超标现象依然存在。为更科学地使用抗寄生虫药,保障畜禽健康,减少药物残留,增加畜禽产品安全性,本文对我国畜产品中抗寄生虫药的使用种类、现状、残留的危害及超标情况几个方面进行了总结,并提出了使用天然药物防控、绿色健康养殖、强化检测标准等一系列安全防控对策。

**关键词:**抗寄生虫药物;兽药残留;食品安全;健康养殖;控制对策

畜禽在生长过程中由于食物和环境原因常会感染寄生虫病,寄生虫会消耗大量畜禽所需养分,使动物的肉、蛋、乳、毛产量减少,品质下降,使养殖业遭受巨大经济损失。而人体食用有寄生虫寄生或是被寄生虫所污染的动物产品时,若加工或烹饪不当,食用后将引起一系列的局部或全身病变。因此为预防和治疗禽畜寄生虫病,常在畜牧生产中使用抗寄生虫药物进行药物防控,目前使

用传统化学合成类药物居多,也有一些中草药补充使用。常规抗虫药作用时间有限,需要反复用药,也造成了其在动物体内的蓄积,人们食用抗寄生虫药物残留较多的畜禽产品后会对机体健康产生危害。因此,在畜禽产品的安全控制方面,抗寄生虫药物残留逐渐引起研究人员和监管部门的关注。针对兽药残留的现状,国家发布了 GB 31650—2019《食品安全国家标准食品中兽药最大残留限量》,自 2020 年 4 月 1 日起予以实施。该标准内容详尽、范围全面,规定了在畜禽产品、水产品、蜂产品中的 267 种 2 191 项兽药残留限量及使用要求,而且几乎将我国所有常用兽药品种和主要动物源性食品都覆盖在内<sup>[1]</sup>,我国畜禽产品的安全控制也因此达到新高度。本文通过对我国畜禽

收稿日期:2021-04-15

基金项目:四川省重点研发项目(2019YFS0525,2019YFN0157,2021YFN0008)。

第一作者:唐仁勇(1977—),男,博士,副教授,从事动物营养与食品安全研究。E-mail: tangrenyong@edu.cdu.cn。

通信作者:刘达玉(1964—),男,硕士,教授,从事食品安全与质量控制研究。E-mail: liudy1014@163.com。

## Research Progress on Application of Biochar Soil Made from Sewage Sludge in Agriculture and Forestry

MA Fu-liang<sup>1</sup>, SUN Yu<sup>2</sup>, PENG Zuo-deng<sup>2</sup>, XIONG Jian-jun<sup>1</sup>, YAO Hai<sup>1</sup>, CUI Chao<sup>1</sup>, TANG Jiao<sup>2</sup>

(1. Beijing City Drainage Refco Group Limited Company, Beijing 100124, China; 2. Forestry College of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to further promote the resource utilization of urban sewage sludge, this paper sorted out the relevant literature on the application of biochar soil made from sewage sludge in the field of agriculture and forestry at home and abroad in recent years, pointed out the production mode and characteristics of sludge biochar soil, and systematically summarized the effects of biochar soil made from sewage sludge on soil physical and chemical properties and soil microbial and enzyme activities. The growth effects of biochar soil on crops, lawn grass, flowers and trees were analyzed. On this basis, the problems still need to be solved and the development direction in the future were put forward.

**Keywords:** urban sewage sludge; biochar soil; agricultural and forestry production; application effect