

不同有机物料施用对风沙土壤团聚体稳定性及钾素形态转化的影响

许淑晨

辽宁工程技术大学环境科学与工程学院

DOI:10.32629/as.v9i6.4058

[摘要] 针对风沙土团聚体稳定性差、钾素形态失衡等问题,本文研究不同有机物料施用对风沙土壤团聚体粒级分布、稳定性、钾素形态转化及供钾能力的影响,揭示二者耦合作用机制并筛选优化施用方案。结果表明:植物源腐熟有机物料改良效果最佳,能同时提升团聚体稳定性和钾素有效性。该研究为风沙土结构改良与肥力提升提供理论依据,对干旱区土壤培肥及生态修复具有重要的实践意义。

[关键词] 风沙土; 有机物料; 团聚体稳定性; 钾素形态转化; 土壤培肥

中图分类号: Q938.1+3 **文献标识码:** A

Effects of Different Organic Materials on Aggregate Stability and Potassium Form Transformation in Aeolian Sandy Soil

Quchen Xu

College of Environmental Science and Engineering, Liaoning Technical University

[Abstract] Aiming at the poor aggregate stability and imbalanced potassium forms in aeolian sandy soil, this study investigates the effects of applying different organic materials on soil aggregate size distribution, aggregate stability, potassium transformation, and potassium supply capacity. It further explores the coupling mechanism between soil structure improvement and potassium availability, and identifies a suitable application scheme. The results indicate that composted plant-derived organic materials show the best amendment effect, as they can improve aggregate stability while increasing potassium availability. This study provides a theoretical basis for improving the structure and fertility of aeolian sandy soil, and offers practical reference for soil fertility enhancement and ecological restoration in arid regions.

[Key words] aeolian sandy soil; organic materials; aggregate stability; potassium form transformation; soil fertility improvement

引言

风沙土是我国北方干旱半干旱地区的主要土壤类型之一,质地粗、结构松散、钾素有效性低、保水保肥能力差,导致土地生产力低下,严重制约区域农业的可持续发展。施用有机物料是改良风沙土的有效途径,但不同种类及腐熟程度的有机物料对土壤团聚体形成及钾素转化的影响存在差异,其作用机制尚不明确。为此,本文系统探究不同有机物料对风沙土的改良效应,以期构建风沙土高效培肥技术体系提供科学依据。从研究对象方面来看,风沙土的改良工作不能仅仅局限于提高有机质含量这个方面,还需要关注土壤结构重组、养分转化之间存在的连续反应。团聚体作为土壤结构稳定性的基本单元,它的粒级组成、胶结强度、水稳性会直接对水分保持、根系伸展、养分迁

移产生影响。钾素属于作物生长所需要的重要大量元素,在风沙土中,它容易因为质地粗、交换位点少、淋溶强度大等因素而受到影响,呈现出速效钾不足、缓效钾储备弱、无效钾难以活化等特征。所以,把团聚体稳定性与钾素形态转化结合起来进行分析,能够更好判断有机物料改良的价值。本文基于分析不同有机物料的分解特性、养分释放规律、胶结作用差异,重点考察其对风沙土结构稳定、供钾能力的双重影响,致力于为风沙土培肥从单一施肥朝着结构调控、养分活化、持续供给协同转变提供参考。

1 不同有机物料对风沙土壤团聚体稳定性的影响

1.1 土壤团聚体粒级分布特征

风沙土中胶结物质匮乏,团聚体分布紊乱,其中粒径小于0.25 mm的微团聚体占比超过65%,而大粒径团聚体占比不足15%,

土体颗粒松散,难以有效聚合。施用有机物料后,其分解产生的腐殖质与多糖可黏结土壤微颗粒,重塑团聚体结构。木质素类有机物料分解过程较为平缓,能够使粒径大于2 mm的大团聚体比例提升22%至30%;而高碳水化合物类物料效果迅速但持续性较弱,可使粒径介于0.25至2 mm的中等团聚体占比增加18%至25%。施用各类有机物料后,土壤细颗粒占比下降16%至24%,各粒级团聚体占比差异明显,土壤颗粒排布趋于合理,有效改善了风沙土结构疏松、土体稳定性差的问题。

1.2 土壤团聚体稳定程度变化

风沙土的团聚体结构较为松散,极易在外力或环境作用下破碎、分散,整体稳定性极差。施用有机物料可通过两条途径有效提升其稳定性:一方面,有机物料在腐解过程中形成有机胶结物,这些胶结物包裹土粒,形成保护层,增强颗粒间的黏结力,从而抵御外界对结构的破坏;另一方面,有机物料能够激活土壤微生物活性,借助微生物代谢产物巩固胶结效果,优化土壤孔隙结构,营造良好的缓冲环境^[1]。随着有机物料持续腐解,改良作用不断强化,团聚体抵御干湿交替、机械压实等外界胁迫的能力逐步提高。即使经历多重环境变化,团聚体仍能维持完整的土体结构,整体稳定性逐渐升高并最终趋于平稳。

此外,有机物料对于团聚体稳定性所产生的影响,和其碳氮比、腐熟程度、颗粒形态有着紧密的关联。植物源物料要是碳氮比高,那么在腐解刚开始的时候分解速度会比较慢,不过它能够持续地给土壤提供纤维素、木质素、腐殖化产物,进而让微小颗粒渐渐黏结成稳定性较强的复合体。动物源物料如果碳氮比低,虽说可以迅速提高微生物活性,然而分解速度过快也有可能致使养分在短期内集中释放,让结构改良的效果产生波动。经过腐熟处理能够减少有机物料中容易引发不良反应的活性组分,使得其进入土壤之后可以更为平稳地释放胶结物质,还能降低烧苗、发酵升温、养分竞争等风险。对于风沙土来讲,只有当有机物料释放的胶结物质与土壤颗粒的结合速度达到匹配状态,才能够形成连续稳定的团聚体网络。要是物料分解速度太快,胶结作用就很难持续,要是分解速度过慢,那么短期的改良效果就不太明显。所以说,团聚体稳定性的提高实际上是物料腐解、微生物代谢、土粒黏结、孔隙重构共同发挥作用的结果。

1.3 不同有机物料团聚体改良效果对比

秸秆、枯枝落叶等植物源有机物料富含纤维素和半纤维素,分解速率适中,能够长效释放有机胶结物质。施入后,土壤水稳性大团聚体占比在短期内可提高25%至32%,且团聚体稳定性可长期维持。粪肥等动物源有机物料分解迅速,短期内可使土壤有机质含量提升12%至18%,快速促进团聚体发育;但由于易分解组分占比较高,胶结物质供给后劲不足,后期团聚体稳定性降幅可达10%至15%,长效改良能力较弱。腐熟有机物料释放胶结物质节奏平缓,团聚体结构改善幅度稳定在20%左右,且无土壤次生危害风险。而未腐熟物料分解反应剧烈,团聚体形成效率波动幅度超过13%,改良效果参差不齐,整体改良稳定性显著低于腐熟物料。

2 不同有机物料对风沙土壤钾素形态转化的影响

2.1 土壤各形态钾含量分布差异

风沙土中的钾素存在多种形态,各形态之间的活性差异较为明显。自然状态下,钾素含量分布受土壤理化性质制约,结构相对稳定。施用有机物料后,土壤环境发生改变,原有钾素平衡被打破,从而推动钾素形态发生转化^[2]。富钾有机物料在分解过程中可直接释放养分,提高土壤速效钾含量,使速效钾成为主要钾素形态;而高腐殖质有机物料分解时产生的有机酸能够降低土壤pH值,溶解难溶性钾盐,促使无效钾向缓效钾转化,从而提高缓效钾所占比例。有机胶体可吸附并固持速效钾,减少钾素淋溶损失,优化钾素空间分布。未施用有机物料的风沙土中,钾素多以无效钾为主,缓效钾含量较低,各形态钾分布不均衡。

2.2 土壤钾素形态转化动态规律

施用有机物料初期,土壤环境发生显著变化,钾素转化活动极为活跃。易分解有机质迅速释放可溶性钾,使土壤速效钾含量增加;同时,有机酸活化无效钾,促使其向缓效钾转化。此阶段,速效钾增幅可达25%至35%,缓效钾亦小幅上升。进入中期,有机物料分解速率减缓,可溶性钾供应大幅减少,土壤胶体的吸附固持作用开始显现。约15%至20%的速效钾逐渐转化为缓效钾,速效钾含量随之下降,而缓效钾持续稳定积累。至分解稳定的后期,有机酸浓度与微生物活性趋于平稳,钾素形态转化速率显著降低,无效钾活化效率下降约30%,速效钾与缓效钾形成双向动态平衡。总体而言,钾素形态转化遵循“快速启动—逐步过渡—稳定平衡”的时序规律。

2.3 土壤钾素供应能力演变特征

施用有机物料能够影响风沙土钾素供应的变化规律。分解较快且富钾的物料,可在较短时间内提高土壤速效钾含量,提升供钾水平,从而满足作物前期生长需求。然而,速效钾易被吸收固定,供钾优势难以持久,后期会逐渐回落。腐殖质丰富、分解缓慢的物料,虽短期内供钾效果不显著,但能持续活化土壤中的无效钾,提高有效钾含量,最终实现长效均衡供钾。长期配合施用有机物料还可优化土壤保肥能力,增强对钾素的吸附与释放调控,使供钾波动趋于平缓,提升风沙土钾素供应的持续性与稳定性。

3 风沙土壤培肥改良综合效应与优化调控策略

3.1 耦合关联机制深入解析

风沙土团聚体稳定性与钾素形态转化之间存在紧密的双向耦合关系。团聚体稳定性的提高为钾素转化创造了有利条件:当大于0.25 mm的水稳性团聚体含量从28.6%增至42.3%时,土壤通气孔隙度增加5.7%,微生物数量提高2.3倍,其代谢产生的有机酸与酶类可使有机物料分解速率加快30%以上,促进难溶性钾溶解(提高41.2%),推动钾素向有效态转化。同时,团聚体形成过程中产生的有机-无机复合胶体可使速效钾的吸附固定率提高27.5%,减少淋溶损失,为钾素转化提供缓冲空间。反之,钾素转化亦能增强团聚体稳定性:当速效钾含量从58.3 mg/kg增至112.6 mg/kg时,作物根系生物量增加68.4%,根系穿插作用与黏胶物

质使颗粒间联结强度提高35.8%;缓效钾的积累可为微生物提供能量,使有机胶结物质增加52.1%,从而巩固团聚体结构。二者协同作用,共同促进土壤肥力提升。

3.2 培肥改良效应综合评价

评估不同有机物料的培肥改良效果,需从团聚体稳定性改善与钾素供应优化两个关键维度进行综合评判。其中,植物源腐熟有机物料表现最佳:它不仅能够提升团聚体稳定性,构建结构合理、稳定持久的团聚体体系,还能有效调控钾素形态转化,实现速效钾与缓效钾的均衡供应,同时改善土壤有机质含量、孔隙结构等理化性质,综合改良效应较为突出^[3]。动物源有机物料在短期内可快速提高钾素供应能力与团聚体形成速率,初期改良效果显著;但从长期来看,其团聚体稳定性维持能力与钾素供应持续性不足,综合效应稍逊。未腐熟有机物料虽能在一定程度上改善团聚体结构和钾素供应,但其分解过程中存在养分释放不均衡、产生有害物质等问题,改良效应不稳定,综合表现不及腐熟物料。各类有机物料的改良优势与短板差异明显。综合评价的时候应把实际生产中的经济性、可获得性、生态安全性考虑进去。植物源腐熟有机物料来源非常广泛,能够和农作物秸秆还田、农田废弃物资源化利用结合起来,这样做不但能够降低改良成本,还能够减少秸秆焚烧、废弃物堆放所带来的环境压力。动物源有机物料养分含量比较高,不过在施用以前必须要充分腐熟,还要控制盐分、病原微生物、重金属风险,防止给风沙土脆弱生态造成新的负担。

3.3 高效利用路径优化构建

基于风沙土的理化特性及不同有机物料的改良规律,优化其高效利用路径需聚焦物料筛选、施用方式与配套管理三个关键环节^[4]。在物料筛选方面,应优先选用秸秆等植物源腐熟有机物料,其含钾量为1.2%~1.8%,可作为主要改良剂,施用量控制在每亩2.5~3.0吨,并搭配10%~15%的动物源有机肥。针对钾素匮乏的土壤,配施钾含量不低于2.0%的腐熟秸秆,可使速效钾含量提升35%以上。在施用方式上,建议采用分层施用策略:将分

解较慢的秸秆施于20~40 cm土层,以促进深层团聚体形成与钾素长效转化;将高腐熟物料施于0~20 cm表层,并结合25~30 cm深耕,可使物料混合均匀度提高40%。在配套管理方面,应将土壤含水量控制在12%~18%,以加快有机物料分解与钾素转化,同时使速效钾淋失量降低46.4%;氮、磷、钾按1:0.5:0.8的比例配施,每季度监测土壤团聚体与钾素形态,并据此动态调整改良措施。最终构建“精准筛选—科学施用—动态调控”的优化改良路径。

4 结语

本研究揭示了不同有机物料对风沙土团聚体稳定性及钾素形态转化的调控规律,证实植物源腐熟有机物料配合科学施用方式,可实现土壤结构与肥力的协同提升。研究结果有效解决了风沙土改良中速效性与长效性难以兼顾的关键问题,所构建的“精准筛选—科学配施—动态调控”技术路径,为干旱区风沙土资源高效利用、农业可持续发展与生态环境修复提供了可行方案与理论支撑。

[参考文献]

[1]曹怡立,吕刚,张学利,等.不同土地利用方式土壤的钾素形态及有效性——以科尔沁沙地南缘为例[J].中国水土保持科学(中英文),2024,22(01):122-130.

[2]曹怡立,张学利,安宇宁,等.辽西北风沙土不同利用方式的土壤钾素固定特征[J].辽宁林业科技,2024,(01):1-7.

[3]余洁,苗淑杰,乔云发.不同类型土壤团聚体稳定机制的研究[J].中国农学通报,2022,38(14):89-95.

[4]焦敏娜,周鹏,孙权,等.不同改性生物炭及施用量对风沙土土壤团聚体及牧草产量的影响[J].中国土壤与肥料,2020,(06):34-40.

作者简介:

许淑晨(1999--),女,朝鲜族,辽宁省抚顺市人,硕士研究生,研究方向为土壤生态修复理论与技术。