



[编者按] 本编辑部以中国知网数据库为源,检索了近10年发表在期刊上、文献题目中含腐植酸、腐殖酸、黄腐酸、泥炭关键词,摘要中含土壤有机碳、团聚体、微生物生物量碳等指标的与腐植酸提高土壤固碳能力相关的文献27篇。现摘编其应用成果,供读者参阅。

27 篇腐植酸提高土壤固碳能力文献摘编

1. 腐植酸铵对连作棉田土壤微生物特性的影响

本研究通过分析施用腐植酸铵肥对新疆地区连作棉田土壤微生物种群、微生物数量及土壤酶活性的影响,从而认识连作棉田土壤微生物特性对腐植酸铵肥的响应,以期明确微生物对环境质量变化的指示作用。结果表明,施用腐植酸铵肥可以显著提高土壤细菌、真菌、放线菌种群数量,提高最大比例分别为109%、100%和80.6%;施用腐植酸铵肥可以显著提高土壤微生物生物量碳、氮、磷,提高最大比例分别为153%、200%和229%,且能显著增加棉田土壤蛋白酶、碱性磷酸酶和多酚氧化酶活性。当腐植酸铵肥施用量为450 kg/hm²时,土壤的微生物活性最大。

来源:《新疆农垦科技》,2015,38(8):44~47。

2. 生物腐植酸对土壤碳组分的影响

土壤碳含量是评价土壤质量的重要指标,增加土壤碳含量不但有助于农业生产的可持续发展,而且对整个地球生态系统的物质循环也有着至关重要的作用。笔者研究了从有机废弃物发酵产物中提取的生物腐植酸对土壤碳组分的影响。结果表明,腐植酸、有机肥均能在一定程度上显著增加土壤总有机碳含量,其中腐植酸+化肥处理能在较长的时间内(10~40天)保持土壤有机碳含量,其土壤有机碳含量增加了1.6%~10.5%。不同施肥处理土壤水溶性有机碳含量存在差异,与对照相比,腐植酸+化肥处理土壤水溶性碳含量增加了2.7%~20.1%。施肥处理能保持土壤微生物生物量碳含量,腐植酸添加量为400 mg/kg时施肥处理土壤微生物生物量碳含量显著高于对照处理。

来源:《中国农学通报》,2015,31(20):137~141。

3. 黄腐酸对植烟土壤改良及烟叶品质的影响研究

以“云烟97”为研究对象,通过大田试验,于2014年研究了不同黄腐酸施用量对植烟土壤改良及烟叶品质的影响。结果表明,施用黄腐酸提高了土壤速效磷、速效钾、碱解氮、有机质、土壤微生物生物量碳、土壤微生物生物量氮含量,并促进土壤中三大菌落的繁殖,但施用黄腐酸对土壤微生物多样性促进效果不明显;黄腐酸促进了烟株根系发育,提高了烟株根系体积,干、鲜重;烟株根系有随黄腐酸施用量增加而增加的趋势;施用黄腐酸降低了烤后烟叶两糖含量,适当提高了烟叶Cl⁻含量和K⁺含量,但有增加烟叶烟碱含量的趋势;施用化肥配施1200 kg/hm²黄腐酸的处理提升土壤微生物生物量碳、量氮的效果最好,烟叶协调性相对较好;施用化肥配施1800 kg/hm²黄腐酸的处理对土壤肥力的提升效果最好。

来源:《土壤通报》,2016,47(4):914~920。

4. 腐植酸和氮肥用量及其互作对植烟土壤质量的影响

以“中烟100”为材料,采用腐植酸和氮肥双因子盆栽试验,研究了腐植酸和氮肥的用量及其互作对植烟土壤团聚体组成、养分及酶活性的影响。结果表明,干、湿筛法测定的土壤团聚体的平均重量直径均以T3处理(腐植酸900 mg/kg+氮肥40 mg/kg)最高,与其他处理相比提高幅度分别为15.3%~23.2%和6.5%~20.0%;方差分析显示,腐植酸与氮肥互作对土壤pH、有机质影响不显著,

但对土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的影响达到极显著水平；二者互作对烤烟各生育期土壤脲酶、蔗糖酶活性影响不同。由此，腐植酸和氮肥用量及其互作对提高土壤团聚体稳定性、土壤主要养分含量及酶活性具有显著效果。

来源：《土壤》，2017，49（1）：27～32。

5. 棉粕腐植酸肥对土壤团聚体、酶及养分的影响

以小麦“新春38号”作为供试品种，研究了棉粕开发的腐植酸水溶性肥料对土壤团聚体、酶和养分的影响。结果表明，与不施肥处理相比，腐植酸肥处理使土壤团聚体含量向2～0.25 mm和>2 mm 粒级有显著转移；土壤脲酶活性、过氧化氢酶和碱性磷酸酶活性显著提高，对蔗糖酶活性差异不明显；可显著提高碱解氮、速效钾和有效磷含量，腐植酸肥处理能平均提高全生育期0～20 cm 土层碱解氮37.27%、速效磷42.24%、速效钾37.02%，20～40 cm 土层碱解氮提高15.55%、速效磷提高61.52%、速效钾提高57.36%。与等养分复合肥处理相比，腐植酸肥处理使不同土层土壤团聚体百分含量向2～0.25 mm 和>2 mm 粒级均有转移；前期抑制土壤脲酶活性，后期提高土壤脲酶、过氧化氢酶和碱性磷酸酶活性，蔗糖酶活性差异不明显；可提高土壤中碱解氮含量，显著提高速效钾和速效磷含量，腐植酸肥处理可平均提高全生育期0～20 cm 土层碱解氮5.92%、速效磷8.8%、速效钾4.29%，20～40 cm 土层碱解氮提高1.9%、速效磷提高15.39%、速效钾提高8%。

来源：《干旱地区农业研究》，2017，35（4）：54～60，94。

6. 泥炭和褐煤对土壤有机碳和腐殖物质组成的影响

在相同温湿度环境条件下，研究泥炭和褐煤与土壤混合后对土壤有机碳及其腐殖物质组成变化的影响，为改善耕地土壤有机碳库的管理提供理论依据。结果表明，随着培养时间的延长，添加褐煤、木本泥炭的土壤有机碳含量分别上升了0.66%和17.41%，添加草本泥炭的土壤有机碳含量下降了3.15%；腐植酸含碳量呈逐渐增加的趋势，黄腐酸

含碳量呈逐渐减小的趋势；添加草本泥炭的腐黑物含碳量呈下降趋势，添加褐煤和木本泥炭的土壤腐黑物含碳量呈逐渐上升趋势。由此可知，泥炭和褐煤能提高土壤有机碳含量，改良土壤腐殖物质组分，且添加木本泥炭的土壤有机质含量和腐殖物质组分改善效果最好。

来源：《土壤通报》，2017，48（5）：1149～1153。

7. 基于木本泥炭快速构建红壤新垦耕地优质耕作层技术与效果

采用田间小区试验的方法，研究添加不同有机物料对红壤新垦耕地0～20 cm 耕作层土壤理化性质和微生物生物量以及水稻产量的影响。试验共设6个处理：CK（不添加改良材料）、M30FS（木本泥炭30 t/hm²+腐熟秸秆3 t/hm²+石灰石粉3.75 t/hm²）、M15FS（木本泥炭15 t/hm²+腐熟秸秆3 t/hm²+石灰石粉3.75 t/hm²）、CFS（生物炭15 t/hm²+腐熟秸秆3 t/hm²+石灰石粉3.75 t/hm²）、OFS（有机肥15 t/hm²+腐熟秸秆3 t/hm²+石灰石粉3.75 t/hm²）和FS（腐熟秸秆3 t/hm²+石灰石粉3.75 t/hm²）。结果表明，（1）与对照相比，添加木本泥炭与有机物料处理显著降低了耕作层土壤容重，提高了土壤总孔隙度和pH，且添加木本泥炭与有机物料处理中土壤肥力均有不同程度提高，其中土壤有机质、全氮、全磷和全钾含量分别提高了36.41%～88.53%、2.22%～37.78%、6.25%～93.75%和27.57%～85.60%，土壤硝态氮、铵态氮、有效磷和有效钾含量分别提高了17.21%～134.85%、1.42%～72.76%、8.71%～156.79%和12.99%～332.39%。（2）添加木本泥炭与有机物料处理对耕作层土壤微生物生物量影响比较明显，与对照相比，各处理中土壤微生物生物量碳和氮含量分别显著增加了52.95%～219.00%和121.45%～548.73%。（3）添加木本泥炭与有机物料处理中水稻产量均明显提高，其中M30FS增产效果最明显，增幅为39.53%。（4）利用聚类分析方法将添加不同有机物料处理下新垦耕地耕作层土壤质量等级划分为3级，分别为：一级（M30FS）、二级（M15FS，OFS，CFS）、三级（FS，CK），其中经M30FS处理后



土壤质量水平等级最高。添加木本泥炭与有机物料解决了红壤黏重和酸化的难题,改善了土壤理化性状和生物学特征,提高了水稻产量,其中添加 30 t/hm^2 木本泥炭对红壤新垦耕地优质耕作层构建效果最明显。

来源:《水土保持学报》,2018,32(6):134~140。

8. 氮肥及黄腐酸对盐渍土有机碳和团聚体特征的调控作用

以滨海滩涂新垦轻中度盐碱障碍土壤为研究对象,采用水稻-小麦轮作种植模式,通过测定土壤电导率、pH、有机碳和土壤团聚体含量及其稳定性,研究黄腐酸与不同氮肥水平对土壤盐分消减调控和土壤地力提升效应。结果表明,黄腐酸能有效降低耕层土壤盐分,在氮水平 300 kg/hm^2 条件下黄腐酸处理对耕层 $0\sim 20\text{ cm}$ 土壤电导率与pH降低效果最好;黄腐酸可以有效改善土壤结构及稳定性,小麦季与水稻季,在氮水平 300 kg/hm^2 条件下黄腐酸处理土壤 $> 2\text{ mm}$ 水稳性大团聚体含量相较于不施肥对照分别增加18.6%和13.8%,土壤团聚体平均重量直径与当地常规施肥相比增加38%;围垦初期,氮水平处理相较于黄腐酸处理对耕层土壤有机碳含量的影响更大,氮水平 300 kg/hm^2 处理相较于低氮(225 kg/hm^2)与高氮(325 kg/hm^2)处理,两季土壤总有机碳积累量分别增加31.0%和120.0%。综合考虑土壤改良效应,黄腐酸处理土壤表层盐分降低、水稳性大团聚体含量增加且稳定性增强、有机碳含量提升,因此黄腐酸结合适宜用量氮肥是一条轻中度盐碱障碍土壤的优化施肥措施。

来源:《土壤》,2020,52(1):33~39。

9. 木本泥炭对红黄壤性水田土壤有机质提升和细菌群落组成的影响

以新垦红黄壤性水田为研究对象,通过施用腐熟秸秆及与土壤腐殖质结构类似的木本泥炭,明确其快速提升土壤有机质(SOM)效应。此外,为了促进秸秆养分的快速转化,本研究进一步比较分析了3种商用激发剂的激发秸秆分解潜力,并采用16S高通量测序技术阐明其微生物机制。试验包含

6个处理:对照(CK)、施用腐熟秸秆(S)、施用腐熟秸秆+木本泥炭(SP)以及在SP基础上添加激发剂I、II、III(SPJ1、SPJ2、SPJ3)。结果表明,SP、SPJ1、SPJ2、SPJ3中的土壤有机质(SOM)、易氧化碳(EOC)、可溶性有机碳(DOC)分别比S或CK处理高12.1%~20.6%、29.9%~48.9%、50.8%~75.5%,微生物生物量碳(MBC)则为它们的10.5~16.1倍,导致MBC/MBN增加了5.1~12.4倍;土壤有效磷(Ava P)和团聚度在SPJ1、SPJ2、SPJ3间类似,并比SP、S、CK处理显著提高44.7%~63.6%、26.4%~43.6%,表明木本泥炭以及本试验所选择的3种激发剂均能显著改善土壤理化性状。细菌多样性和系统发育多样性指数在激发剂施用土壤中均处于较高水平,并分别与DOC和EOC显著正相关。PcoA与Anosim分析发现3种激发剂施用土壤的细菌群落结构类似并与其他处理差异显著,该差异主要与Ava P、DOC、EOC、MBN有关。上述结果表明,通过在新垦水田土壤上施用腐熟秸秆和木本泥炭,可快速提升SOM含量,而在此基础上添加商用激发剂具有激发养分转化功能的微生物的潜力,从而改善土壤理化性质和提升作物产量,并且本研究选择的3种激发剂均有类似效应。

来源:《土壤》,2020,52(2):279~286。

10. 碱性腐植酸改良液对露地酸化土壤理化性质及樱桃番茄品质的影响

为了探讨碱性含腐植酸改良营养液对海南露地酸化土壤理化性质及樱桃番茄品质的影响,为有效改善露地酸化土壤提供理论依据,通过小区试验,设置复合肥和含腐植酸改良营养液处理,定期测定土壤pH、养分含量等理化指标,并在樱桃番茄收获期测定土壤团粒结构、果实性状及其营养品质。结果表明,果实收获期,改良营养液和复合肥处理的土壤pH分别为5.71和5.05;改良营养液处理的耕层土壤团聚体含量($> 0.25\text{ mm}$)、有机质、碱解氮、有效磷、阳离子交换量、交换性钙和交换性镁含量均高于复合肥处理,速效钾和电导率低于复合肥处理;改良营养液处理的“黄星”“美莎”和“千禧”果实营养品质优于或相当于复合肥处理。

结果表明,改良营养液改善土壤理化性质与提高果实品质可协调进行,可以推广到露地酸化土壤改良和替代复合肥用于樱桃番茄的生产。

来源:《中国瓜菜》,2020,33(10):39~44。

11. 腐植酸改良红石膏堆场理化性质的研究

为缓解我国人均耕地面积不足的问题,研究了将液体腐植酸和粉状腐植酸分别按1%、2%、3%、4%和5%的比例分3次喷洒到红石膏堆场上,老化7天后测其表层pH、堆积密度和团粒结构,选出最佳腐植酸喷洒比例。结果表明,3%液体腐植酸改良后红石膏毛细现象和浸出重金属离子浓度均符合土壤修复标准,中试种植植物的出苗率达95%,达到用腐植酸改良红石膏堆场形成土壤结构,实现“以废治废”的目的。同时,揭示了腐植酸促进红石膏形成粒径大于0.25 mm的大团聚体、减少毛细现象、酸性中和红石膏废弃物的长期可持续修复机理,为解决红石膏堆放占地污染问题和红石膏造地提供了科学依据。

来源:《腐植酸》,2021(2):24~33,43。

12. 添加木本泥炭改良剂对矿区新复垦耕地土壤有机碳组分的影响

选取山西省大同市某矿区新复垦耕地为研究区,将基于木本泥炭改良剂的一次性工程化快速构建优质耕作层技术应用于煤矿区,探讨其技术可行性及其对复垦区土壤养分和有机碳及其组分的影响机制。试验设4个处理,即不施肥处理(CK)、常规施肥+腐熟秸秆(DZ)、木本泥炭+腐熟秸秆+生物激发剂+常规施肥(MT)和秸秆还田+常规施肥(DB,研究区周边高产农田)。在作物收获后采集0~20 cm耕层土样,测定土壤基础养分指标和土壤总有机碳(TOC),微生物量碳(MBC),易氧化有机碳(EOC),水溶性有机碳(WSOC),颗粒有机碳(POC),轻、重组有机碳(LFOC、HFOC),并测定作物产量。结果表明,MT处理显著降低了土壤pH,且添加木本泥炭等有机物料处理中土壤肥力均有不同程度提高,作物产量显著增加;MT处理显著增加了土壤有机碳及其碳组分含量,TOC、MBC、EOC、

WSOC、POC、LFOC和HFOC较CK分别提高82.30%、146.84%、57.23%、92.95%、565.22%、280.64%和46.11%,以POC含量增加最为显著;土壤有机碳各组分间关系密切,全氮、全磷、全钾和碱解氮与土壤有机碳各组分呈极显著相关。综合来看,木本泥炭等有机物料的添加可以快速提升矿区复垦地土壤有机碳及其碳组分含量,增强碳稳定。以MT处理为最佳模式。

来源:《山西农业科学》,2021,49(3):324~331。

13. 生化黄腐酸对土壤物理性质及水分运动特性的影响

为了探究生化黄腐酸(BFA)在土壤结构改良方面的应用,通过向土壤中添加BFA,研究其在不同浓度处理下对土壤物理性质及水分运动特性的影响。结果表明,随着BFA施加比例提高,土壤中>0.25 mm的水稳性团聚体($R_{0.25}$)数量显著增多,施加比例为20 g/kg时, $R_{0.25}$ 、土壤团聚体平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)分别增加284.98%、105.64%、35.06%,分形维数降低2.17%。在温度与pH变化的影响下,随着施加比例增大,Zeta电位的绝对值逐渐增大,施加比例为20 g/kg时,Zeta电位的绝对值分别提高11.77%、59.70%。向土壤中添加BFA可以显著增强土壤的入渗能力,提高累积入渗量与入渗率,随着施加比例的增大,累积入渗量提高28.83%;3种入渗模型均能较好地模拟土壤水分入渗过程。

来源:《水土保持学报》,2021,35(4):159~164,171。

14. 生物炭和腐植酸对丹江口库区土壤团聚体的影响

采用室外培养试验,在丹江口库区土中同时分别添加0、150、300 kg/hm²的腐植酸(H0、H1、H2)和0、750、1500 kg/hm²的生物炭(B0、B1、B2),12个月后用筛分法对土壤团聚体结构分布、平均质量直径(MWD)、团聚体破坏率(PAD)进行分析,并采用稀释平板计数法测定土壤中细菌、真菌、放线菌的数量。结果表明,添加生物炭和腐植酸可显著改变土壤团聚体组成,且



随着生物炭和腐植酸添加量的增加, > 0.5 mm 水稳性团聚体含量逐渐增高, < 0.5 mm 的水稳性团聚体含量逐渐降低。和未施用腐植酸和生物炭的对照相比, 单独施用腐植酸或生物炭或二者耦合施用处理下, 土壤 > 0.5 mm 水稳性团聚体平均含量分别增加 25.4%、115.5%、135.9%, MWD 均值分别增加 19.5%、93.0%、110.2%, PAD 均值分别降低 14.1%、47.3%、55.2%, 细菌平均分别增加 4.2%、129.8%、139.8%, 放线菌平均分别增加 12.7%、77.8%、99.3%, 真菌平均分别增加 20.7%、77.7%、80.4%。其中, B2H2 耦合处理对 > 0.5 mm 水稳性团聚体的形成及细菌、放线菌和真菌的生长具有最大促进作用, 分别比对照提高 183.3%、199.8%、121.2%、88.5%。综上, 土壤中添加腐植酸或生物炭有助于促进大团聚体 (> 0.25 mm) 的形成, 可提高丹江口库区土壤结构的稳定性, 增加土壤可培养微生物的丰度; 生物炭和腐植酸耦合施用比单独施用更有助于促进土壤大团聚体的形成和微生物的生长。

来源:《河南农业科学》, 2021, 50(11): 87~96。

15. 磺化腐植酸对港口疏浚土团粒结构构建的影响

为实现港口疏浚土作为土壤资源化高效利用, 采用湿法硫酸化法制备磺化腐植酸(SA)以改善土壤团粒结构, 研究不同条件下 SA 对疏浚土湿筛时 > 1.0 mm 水稳性团聚体指数(WR1.0)的影响, 并采用红外光谱、扫描电镜对 SA 进行形貌分析。结果表明, 构建疏浚土团粒结构最佳的磺化条件为硫酸浓度 15%, 磺化反应温度 40 °C, 磺化反应时间 2 h, 疏浚土形成的水稳性团聚体指数为 6.34%, 证明 SA 对构建疏浚土团粒结构起着重要作用。

来源:《腐植酸》, 2022(2): 30~35。

16. 大颗粒活化腐植酸肥对苹果土壤团聚体和有机碳的影响

设置 4 个新型大颗粒活化腐植酸肥(LAF)处理: LAF1[全量施肥, 施肥时期及重量比(下同): 萌芽期: 膨果期: 成熟期 = 3 : 4 : 3]、

LAF2(全量施肥, 萌芽期: 膨果期: 成熟期 = 2 : 3 : 5)、LAF3(减量 1/4 施肥, 萌芽期: 膨果期: 成熟期 = 2 : 3 : 5)、LAF4(减量 1/3 施肥, 萌芽期: 膨果期: 成熟期 = 2 : 3 : 5), 以不施肥(CK)处理为对照。通过 4 年盆栽试验, 研究苹果土壤团聚体组成、稳定性和有机碳对不同施肥处理的响应。结果表明, 与 CK 相比, LAF 各处理显著提高了土壤水稳性大团聚体含量, > 2 mm 和 2 ~ 0.25 mm 粒径团聚体含量分别提高了 53.4% ~ 77.5% 和 12.3% ~ 17.0%, 且提高幅度随施肥量的增加而增大, 其中 LAF1 处理土壤水稳性大团聚体含量最高。LAF 各处理在各粒径团聚体含量上差异不显著, 其中 2 ~ 0.25 mm 粒径团聚体含量所占的比例最高。与 CK 相比, LAF 各处理均显著提高了团聚体平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD), 降低了分形维数(D), 其中 LAF1 处理的 MWD 和 GMD 值最高, 对土壤团聚体稳定性提升效果最好。除 LAF4 外, 其他 LAF 处理土壤有机碳含量均显著高于 CK, 其中 LAF2 处理土壤有机碳含量最高; LAF 各处理均增加了土壤各粒径团聚体有机碳含量, LAF1、LAF2、LAF3 处理显著提高了 > 2 mm 粒径团聚体有机碳含量, 且 > 2 mm 团聚体有机碳对总有机碳的贡献率最大; LAF 各处理的水稳性大团聚体有机碳对总有机碳的贡献率均显著高于 CK, 且贡献率均在 66.0% 以上, 其中 LAF1 处理最高。综上, 施用 LAF 在促进苹果土壤水稳性大团聚体形成和稳定性、提高团聚体有机碳含量上应用效果显著, 其中全量施用效果最好。

来源:《应用生态学报》, 2022, 33(4): 1021~1026。

17. 添加木本泥炭和膨润土对侵蚀退化黑土理化性质的影响

向土壤中添加木本泥炭和膨润土, 利用室内模拟和田间原位观测相结合, 进行土壤饱和导水率、导气率和相对气体扩散率以及持水性、有机碳含量和作物产量研究。结果显示: 室内条件下添加 2% 或 4% 木本泥炭会使饱和导水率分别降低 14.3% 和增加 9.9%、导气率分别增加 18.9% 和 4.1%、相对

气体扩散率分别增加 15.5% 和 6.6%、有机碳含量分别增加 39.4% 和 71.5%、盆栽玉米产量分别增加 2.0 倍和 1.9 倍；添加 1% 膨润土会使饱和导水率、导气率和相对气体扩散率分别降低 63.2%、55.3% 和 7.6%，有机碳含量和盆栽玉米产量分别增加 1.0% 和 1.1 倍；添加 2% 或 4% 木本泥炭和 1% 膨润土会使饱和导水率分别降低 65.8% 和 73.1%、导气率分别降低 33.2% 和 32.8%、相对气体扩散率分别增加 0.2% 和降低 4.7%、有机碳含量分别增加 37.8% 和 70.6%、盆栽玉米产量分别增加 1.9 倍和 1.5 倍。大田中添加木本泥炭会使土壤饱和导水率、相对气体扩散率、有机碳含量和大豆产量分别增加 75.0%、32.0%、36.1% 和 43.2%，土壤导气率降低 45.2%；添加膨润土会使土壤饱和导水率、导气率和相对气体扩散率分别降低 39.1%、44.4% 和 44.0%，有机碳含量和大豆产量分别提高 3.6% 和 4.2%，但有机碳含量和大豆产量差异不显著。混合添加木本泥炭和膨润土会使土壤饱和导水率、相对气体扩散率、有机碳含量和大豆产量分别增加 134.4%、28.0%、36.0% 和 26.3%，土壤导气率降低 38.2%。添加木本泥炭和膨润土均可提高土壤持水能力，添加膨润土的处理有机碳分解减慢。总之，混合添加效果最好，可提高土壤通气透水性、持水能力、有机碳含量和作物产量，并有助于有机碳累积。

来源：《土壤学报》，2022，59（4）：953 ~ 963。

18. 施加黄腐酸钾对黑垆土土壤结构的影响

通过室内试验，向黑垆土中施加不同质量配比（0、0.1%、0.5% 和 1%）的黄腐酸钾，得到对土壤结构改良效果的最佳黄腐酸钾施量。结果表明，用含 1% 黄腐酸钾处理后的土样效果最优，土壤累积入渗量、入渗率（90 min）、稳渗率和湿润锋运移距离分别增加了 43.96%、182.5%、47.06% 和 28.41%。3 种入渗模型参数拟合结果显示，Kostiakov 公式中经验系数从 1.6487 减小至 0.9013，经验指数从 0.4781 增加至 0.5375。Philip 公式中稳渗率在 0.0020 到 0.0032 的范围内，吸渗率在 0.9562 到 1.0042 范围波动。改进后 Kostiakov 公式中，稳定入渗率从 0.0126 增加至 0.0846。含

1% 黄腐酸钾的土样对土壤孔隙度的影响最大，土壤总孔隙度和土壤通气孔隙度分别增加了 2.65% 和 64.29%，土壤毛管孔隙度降低了 17.00%。同时土壤中掺入黄腐酸钾的质量配比越大，在单位体积上相较于对照组，土壤体积质量减少了 2.99%。随着培养时间增长，粒径 > 0.25 mm 团聚体量显著增加，同时粒径 < 0.045 mm 团聚体量逐渐减少。平均几何直径与黄腐酸钾施量之间呈现正相关关系，而不稳定团粒指数和土壤可蚀性因子随黄腐酸钾施量增加呈现负相关，分形维数随着时间与黄腐酸钾施量的增大呈现减小趋势。可见施加质量配比为 1% 黄腐酸钾对黑垆土结构改良效果最佳。

来源：《灌溉排水学报》，2022，41（10）：131 ~ 138。

19. 生物炭和腐殖酸施用对稻麦轮作系统 CH₄ 和 N₂O 综合温室效应的影响

以稻麦轮作系统为研究对象，探究生物炭和腐殖酸在经过 1 年陈化后对土壤肥力、作物产量和温室气体排放的持续影响。试验设置 6 个处理：B0F0（对照，不添加生物炭和腐殖酸）；B0F1（不添加生物炭，腐殖酸添加量为 0.6 t/hm²）；B0F2（不添加生物炭，腐殖酸添加量为 1.2 t/hm²）；B1F0（生物炭添加量为 20 t/hm²，不添加腐殖酸）；B1F1（生物炭添加量为 20 t/hm²，腐殖酸添加量为 0.6 t/hm²）；B1F2（生物炭添加量为 20 t/hm²，腐殖酸添加量为 1.2 t/hm²）。结果表明，与 B0F0 相比，生物炭显著增加了稻麦两季土壤有机碳含量；腐殖酸增加了稻季土壤有机碳含量，对麦季土壤有机碳含量无显著影响；单独施用生物炭或腐殖酸对水稻和小麦产量均没有显著影响，生物炭和腐殖酸混施处理显著提高了小麦产量，增幅为 1.0% ~ 5.0%，对水稻产量没有显著影响。与 B0F0 相比，单独施用生物炭或腐殖酸以及二者混施均降低了土壤 CH₄ 累积排放量，降幅分别为 11.1%、21.8% ~ 25.8% 和 24.7% ~ 34.1%；单独施用生物炭或腐殖酸以及二者混施均增加了 N₂O 累积排放量，增幅分别为 33.3%、10.0% ~ 30.1% 和 7.2% ~ 23.7%。生物炭和腐殖酸主要通过降低 CH₄ 的排放，显著降低了稻麦轮作系统的综合温室效应和温室气体强度，



B1F1 处理的综合温室效应和温室气体排放强度均为最低水平。这表明在稻麦轮作系统,生物炭和腐植酸在土壤中经 1 年陈化后仍然具有固碳减排能力,是稻麦轮作系统缓解土壤酸化、提高土壤肥力、减少温室气体排放的有效措施。

来源:《农业工程学报》,2023,39(11):220~229。

20. 腐殖酸与不同耕作措施对盐碱土碳库和微生物群落结构影响

为阐明施用腐殖酸后苗期深松、镇压措施对碱土碳库及微生物群落影响,利用大田试验,设旋耕+腐殖酸(HA)、旋耕+苗期浅松+腐殖酸(QHA)、旋耕+苗期镇压+腐殖酸(ZHA)3种处理,以旋耕不施腐殖酸为对照(CK),通过测定土壤酸碱度(pH)、电导率(EC)、有机碳(TOC)、无机碳(SIC)及细菌、真菌群落结构揭示其变化规律。结果表明,增施腐殖酸可有效降低土壤 pH,使土壤 SIC 含量小幅降低,同时增加土壤 TOC 含量,且以浅松处理增幅最显著,达 40.36%。增施腐殖酸可导致土壤微生物生物量碳(MBC)小幅降低,浅松、镇压会进一步增加降幅;增施腐殖酸使 K^+ 显著提高,增加 K^+/Na^+ ,极大减少 Na^+ 伤害,提高作物的耐盐性。相关性分析发现,微生物与环境因子关系密切,其中 Gemmatimonadetes(芽单胞菌门)、Planctomycetes(浮酶菌门)、Mortierellomycota、Rozellomycota 与土壤 pH 呈显著正相关;Acidobacteria(酸杆菌门)、Mortierellomycota、Glomeromycota、Mucoromycota 与 SIC 呈显著正相关;Rozellomycota 与 pH、SIC 呈显著正相关;Firmicutes、Ascomycota 与 TOC 呈显著正相关,Verrucomicrobia(疣微菌门)与 MBC 呈极显著正相关,Chytridiomycota 与活性有机碳呈显著正相关。综合分析各项指标发现,增施腐殖酸配合苗期浅松(QHA)处理下盐碱土碳库及微生物群落结构最优,值得推广。

来源:《作物杂志》,2024(1):157~165。

21. 化肥减量配施腐植酸生物肥对黑钙土理化性质及微生物多样性的影响

以芸豆为试验作物,连续两年进行田间试验;

试验设置 6 个处理,分别为:当地常规化肥施用量(CF)、常规化肥施用量减少 20%(RF)和常规化肥施用量减少 20% 配施腐植酸生物肥 45.0 kg/hm^2 (RFH1)、 67.5 kg/hm^2 (RFH2)、 90.0 kg/hm^2 (RFH3)、 112.5 kg/hm^2 (RFH4);测定芸豆不同生育期和收获后各处理耕层土壤容重、团聚体、酶活性和微生物多样性指标,分析腐植酸生物肥对土壤理化性质的影响。结果表明,化肥减量配施腐植酸生物肥能使土壤容重降低,促进土壤水稳性团聚体的形成,增加 $> 5 \text{ mm}$ 、 $5 \sim 2 \text{ mm}$ 和 $2 \sim 1 \text{ mm}$ 水稳性团聚体百分含量及比例,改善土壤物理结构。2021 年和 2022 年各处理中 RFH2 处理土壤团聚体平均重量直径均最大,较 CF 处理增加 17.6% 和 10.6%。化肥减量配施腐植酸生物肥处理的土壤碱性磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和蛋白酶活性较 CF 处理分别提高了 11.8%~34.6%、10.1%~48.4%、10.4%~14.7% 和 13.7%~35.2%。土壤中微生物 α 多样性和物种丰度提高,RFH2 处理土壤细菌 Ace 指数较 CF 处理增加 16.6%,RFH3 处理土壤真菌 Ace 指数和 Shannon 指数较 CF 处理增加 42.6% 和 28.8%。化肥减量配施腐植酸生物肥能够提高细菌变形菌门(Proteobacteria)和真菌子囊菌门(Ascomycota)微生物所占比例。腐植酸生物肥的施用促进了芸豆的产量形成,2021 年和 2022 年 RFH2 处理芸豆籽粒产量最高,较 CF 处理增加 24.7% 和 21.5%。综合分析认为,常规化肥施用量减少 20% 配施 67.5 kg/hm^2 腐植酸生物肥(RFH2)处理改善土壤理化性质和微生物多样性效果最佳。

来源:《土壤通报》,2024,55(3):746~757。

22. 含腐植酸水溶肥对空心菜生长及土壤养分性状的影响

为研究不同腐植酸水溶肥施用量及施肥方式对空心菜品质、土壤含碳量、土壤养分含量、土壤酶活性的影响,设置 8 个处理,分别为空白(CK)、常规化肥(CF)、根施腐植酸水溶肥全量替代(RT1)、根施腐植酸水溶肥 50% 替代(RT0.5)、根施腐植酸水溶肥 25% 替代(RT0.25)、叶施腐植酸水溶肥全量替代(LT1)、叶施腐植酸水溶肥

50% 替代 (LT0.5)、叶施腐植酸水溶肥 25% 替代 (LT0.25), 测定收获后土壤理化性质以及空心菜产量品质指标, 采用主成分分析法对施肥效果进行综合评价。结果表明, RT1 较 CF 产量、土壤有机碳 (SOC) 含量和可溶性固形物含量分别提升了 11.5%、8.7% 和 8.8%; LT1 较 CF 可溶性固形物、粗蛋白和 Vc 含量分别提升了 17.6%、15.5% 和 11.0%, 但产量和土壤 SOC 含量分别下降了 2.9% 和 11.3%。空心菜产量与土壤速效氮和 SOC 含量呈显著正相关, 与 pH 和速效钾、速效磷含量呈显著负相关, 表明速效氮养分和有机质的添加对于促进空心菜生长和增加产量起重要作用。根据主成分分析结果, 施加腐植酸水溶肥有利于高品质蔬菜生产及提高土壤质量, 根部施用全量腐植酸水溶肥替代化肥 (RT1) 效果最佳。研究结果可为提高作物产量品质和土壤质量, 实现化肥减施并增加土壤固碳能力提供参考。

来源:《环境工程技术学报》, 2024, 14(5): 1444 ~ 1450。

23. 添加木本泥炭和腐熟秸秆对黄沙土壤有机碳组分及南瓜产量的影响

采用田间小区试验, 研究添加不同量木本泥炭、腐熟秸秆对甘肃武威古浪县黄花滩生态移民区设施大棚黄沙土壤养分指标、有机碳组分、土壤呼吸速率、CO₂ 排放量和南瓜产量的影响。试验共设 4 个处理: CK (常规施肥), T1 (木本泥炭 4500 kg/hm²+ 腐熟秸秆 1500 kg/hm²+ 生物激发剂+ 常规施肥), T2 (木本泥炭 9000 kg/hm²+ 腐熟秸秆 3000 kg/hm²+ 生物激发剂+ 常规施肥), T3 (木本泥炭 13500 kg/hm²+ 腐熟秸秆 4500 kg/hm²+ 生物激发剂+ 常规施肥)。结果表明, 木本泥炭、腐熟秸秆处理下, 土壤电导率降低, 土壤有机质、全量养分及速效养分含量均有不同程度的提高, 南瓜产量显著增加, 以 T3 处理的增产效果最为明显, 增幅达 1 倍; 南瓜生育期内的平均呼吸速率、CO₂-C 累计排放量显著增加; 土壤有机碳及相关组分含量明显提升, 土壤总有机碳 (TOC)、易氧化有机碳 (EOC)、可溶性有机碳 (DOC)、微生物生物量碳 (MBC) 含量分别较 CK 增加 25.71% ~

62.37%、46.97% ~ 163.11%、84.45% ~ 223.40%、50.34% ~ 73.40%, 以 DOC 含量增加最为显著; 土壤有机碳各组分间关系密切, 土壤有机质、全氮、全磷、全钾等养分指标含量和土壤平均呼吸速率、CO₂-C 累计排放量及南瓜产量与土壤有机碳组分含量均呈正相关。综合来看, 添加木本泥炭和腐熟秸秆可以大幅提升古浪黄花滩设施大棚黄沙土壤肥力, 改善土壤理化性状, 增加南瓜产量, 其中添加木本泥炭 13500 kg/hm²、腐熟秸秆 4500 kg/hm² 的效果最明显。

来源:《江苏农业科学》, 2024, 52(5): 229 ~ 236。

24. 褐煤腐植酸对科尔沁沙地风沙土土壤特性及荞麦产量的影响

于 2020—2022 年, 以科尔沁沙地风沙土为改良对象, 通过田间定位试验, 以不施用褐煤腐植酸为对照 (CK), 设置 3 个褐煤腐植酸用量处理: 2 t/hm² (低量, H1)、4 t/hm² (中量, H2) 和 6 t/hm² (高量, H3), 研究 2020 年褐煤腐植酸一次性施用后 0 ~ 40 cm 土层土壤贮水量 (SWS)、养分含量、微生物生物量碳氮 (SMC、SMN) 含量及荞麦产量的变化。结果表明, 与 CK 相比, 施用褐煤腐植酸总体上提高了风沙土 0 ~ 40 cm 土层的 SWS, 但不同褐煤腐植酸施用量对 SWS 的提升幅度不同。在 2020—2022 年, 无论是在播种前、开花期还是在成熟期, 4 个处理中, H3 处理 0 ~ 40 cm 土层的 SWS 均最高。与 CK 相比, 施用褐煤腐植酸影响了风沙土土壤养分含量, 且褐煤腐植酸不同施用量对不同土层土壤养分含量的影响程度存在较大差异。褐煤腐植酸一次性施用 3 年后 (2022 年), H3 处理的土壤有机质、全氮、铵态氮、速效磷和速效钾含量总体高于其他处理。无论是在开花期还是在成熟期, 与 CK 相比, 施用褐煤腐植酸总体提高了 SMC 和 SMN 含量, 且在 0 ~ 10、10 ~ 20 和 20 ~ 40 cm 土层, H3 处理 SMC 和 SMN 含量总体均最高。2020—2022 年, 与 CK 相比, 施用褐煤腐植酸均提高了荞麦干物质质量和产量, 其中 H3 处理的增幅最大。主成分分析和随机森林分析结果显示, 土壤速效钾、SWS、



SMC 和铵态氮与荞麦产量关系密切, 其对荞麦产量的贡献率分别为 11.00%、8.60%、7.85% 和 6.29%。可见, 在科尔沁沙地, 当施用量为 4 ~ 6 t/hm² 时, 褐煤腐植酸对风沙土保水增肥增产的改土作用明显, 其中当褐煤腐植酸施用量为 6 t/hm² 时效果最佳。

来源: 《西北农林科技大学学报(自然科学版)》, 2024, 52(6): 62 ~ 72。

25. 腐植酸 - 水铁矿复合物提升新整治耕地土壤有机碳的效应

通过室内培养试验, 探究了秸秆(S)、生物质炭(B)、木本泥炭腐植酸(HA)和木本泥炭腐植酸-水铁矿复合物(HA-Fe)对新整治耕地红壤、滨海盐土和黄绵土有机碳的提升效应及其差异。结果表明, 在整个培养期间, 4种物料均显著提升了3种土壤的总有机碳含量, 但培养100天时, HA、B和HA-Fe处理的提升效果分别是S处理的3.1~4.3倍、3.1~3.8倍和3.0~4.0倍; 在培养360天时, HA、B和HA-Fe处理的提升效果分别是S处理的3.0~7.1倍、2.9~6.2倍和2.9~6.3倍。B和HA处理对土壤矿物结合态有机碳的提升效果则弱于S处理。相比于S、B和HA处理, HA-Fe处理同时具备大幅提升土壤总有机碳和矿物结合态碳的能力, 然而其对土壤活性易氧化碳的提升效果远小于S处理。本研究结果揭示, 木本泥炭腐植酸-水铁矿复合物具有更良好的快速提升新整治耕地有机质的能力, 但在实际应用中应当与易分解有机质配合施用以更全面地提升土壤活性和矿物结合态有机质。

来源: 《土壤》, 2024, 56(6): 1184 ~ 1191。

26. 腐植酸复合肥对青稞产量及土壤肥力的影响

为探索化肥减量增效背景下西藏青稞主产区粮食稳产增产的新途径, 实现西藏自治区日喀则市耕地可持续利用, 立足腐植酸类肥料在改良土壤、促进作物生长等方面的优势, 开展了化肥减量配施不同比例腐植酸复合肥对青稞产量及土壤肥力的影响研究。结果表明, 施用腐植酸复合肥和腐植酸有机-无机复合肥各处理青稞株高没有明显差异,

施用腐植酸有机-无机复合肥有利于增加青稞千粒重; 腐植酸有机-无机复合肥用量为 600 kg/hm² 时, 青稞秸秆产量为 3909.30 kg/hm², 较常规施用化肥增加 2.45%; 青稞籽粒产量为 4608.75 kg/hm², 较常规施用化肥减少 2.64%。施用腐植酸复合肥处理, 随着施用量的增加, 青稞籽粒产量呈增加趋势; 土壤全钾、有机碳含量整体呈增加趋势, 且均高于常规施用化肥处理。

来源: 《现代农业科技》, 2025(3): 15 ~ 17。

27. 基于两地长期定位试验的铁改性木本泥炭修复中轻度镉砷污染稻田效果与土壤健康效应评价

在韶关、惠州两地中轻度镉砷复合污染稻田开展了为期3年6季的定位试验, 在每年早稻、晚稻种植前, 分别向试验小区施加还原铁粉、木本泥炭和铁改性木本泥炭, 研究镉砷同步钝化效果, 同时, 对测定的所有土壤健康指标按照理化性质(pH、OM、CEC)、重金属含量(稻米镉、稻米砷、土壤有效态镉、土壤有效态砷)及稻米产量进行分组并构建评分函数, 评价铁改性木本泥炭对土壤健康的效应。结果表明, 与对照相比, 施加铁改性木本泥炭可显著降低稻米镉、砷含量, 下降率可分别达到 47.8% 和 61.2%; 可显著降低土壤有效态镉、砷含量, 下降率可分别达到 60.4% 和 69.8%; 可显著提高稻米产量, 增产率可达 17%。同时, 施加铁改性木本泥炭提升了土壤 pH、有机碳含量和 CEC, 3年间, 韶关、惠州试验地土壤 pH 分别平均提升 0.35、0.37 个单位, 有机质分别平均提升 0.50、2.02 g/kg, CEC 平均提高 1.27、1.49 cmol/kg, 显著地提升了土壤质量。土壤健康指数评价表明, 施加铁改性木本泥炭极大地提高了总体健康指数, 土壤健康状况达到高等水平以上。尽管惠州试验地的土壤健康指数高于韶关, 但铁改性木本泥炭对韶关试验地土壤健康指数的提升更显著, 这可能与韶关试验地土壤健康质量指数本底值较低有关。研究结果为铁改性木本泥炭在土壤修复中的长期应用提供了科学依据。

来源: 《生态环境学报》, 2025, 34(4): 608 ~ 620。