

秸秆与氮肥配施对潮土微生物活性及团聚体分布的影响

周孟棕, 高焕平, 刘世亮, 李 慧, 刘 芳, 姜桂英, 赵 颖

(河南农业大学资源与环境学院, 郑州 450002)

摘要: 为了探索秸秆还田与氮肥配施对砂质潮土微生物活性与土壤团聚体的影响。采用室内培养的方法, 在定量秸秆条件下, 通过控制尿素用量, 研究不同氮肥用量与秸秆配施比例对砂质潮土的有机质、土壤微生物量碳、氮含量、土壤酶活性以及土壤团聚体的影响。结果表明: 与 CK 相比, 秸秆配施适量氮肥, 能显著提高土壤有机质(29.04%~41.90%)、微生物量碳(53.34%~90.33%)、氮含量(25.41%~38.67%)、土壤脲酶(35.29%~44.12%)、多酚氧化酶活性(36.67%~53.33%)以及大团聚体(>0.25 mm)比例(8.81%~65.22%), 增强团聚体稳定性(25.89%~91.96%)($P<0.05$); 其中, 当添加尿素量为 0.213 g/kg 时最利于增强土壤微生物碳含量, 提高大颗粒团聚体(>0.25 mm)比例以及团聚体的稳定性; 添加尿素量为 0.086 g/kg 时, 则对土壤有机碳含量、土壤微生物氮含量影响较为突出。相关分析表明, 土壤有机碳、微生物量碳、氮含量、酶活性和 WMD、GMD 关系密切, 呈现正相关性。综上所述, 砂质潮土实施秸秆还田配施氮肥可提高土壤养分含量, 改善土壤物理性状。研究结果可为优化秸秆还田技术、改善砂质潮土肥力状况提供理论依据。

关键词: 秸秆还田; 碳氮比; 微生物活性; 土壤团聚体

中图分类号: S154.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2022)01-0340-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.01.043

Effects of Combined Application of Straw and Nitrogen Fertilizer on Microbial Activity and Aggregate Distribution in Fluvo Aquic Soil

ZHOU Mengliang, GAO Huanping, LIU Shiliang, LI Hui, LIU Fang, JIANG Guiying, ZHAO Ying

(College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002)

Abstract: In order to explore the effects of combined application of straw and nitrogen fertilizer on microbial activity and soil aggregates in sandy fluvo aquic soil, the effects of the different amounts of nitrogen fertilizer and combined application ratios of straw on organic matter, soil microbial biomass carbon, nitrogen content, soil enzyme activity and soil aggregate in sandy fluvo aquic soil were studied by using the method of indoor culture and controlling urea amounts under the condition of quantitative straw. The results showed that compared with CK, straw combined with proper amount of nitrogen fertilizer could significantly improve soil organic matter content (29.04%~41.90%), microbial biomass carbon content (53.34%~90.33%), nitrogen content (25.41%~38.67%), soil urease activity (35.29%~44.12%), polyphenol oxidase activity (36.67%~53.33%) and the proportion of large aggregates (> 0.25 mm) (8.81%~65.22%), and enhance the stability of aggregates (25.89%~91.96%) ($P<0.05$). When the amount of urea was 0.213 g/kg, it was most conducive to increase soil microbial carbon content, the proportion of large particle aggregates (>0.25 mm) and improve the stability of aggregates. When the amount of urea was 0.086 g/kg, the soil organic carbon and soil microbial nitrogen contents were significantly affected. Correlation analysis showed that soil organic carbon, microbial biomass carbon, nitrogen content enzyme activities were closely related to WMD and GMD, showing a positive correlation. In conclusion, straw returning combined with nitrogen fertilizer could improve soil nutrient content and soil physical properties in sandy fluvo aquic soil. The research results could provide a theoretical basis for optimizing straw returning technology and improving the fertility of sandy fluvo aquic soil.

收稿日期: 2021-08-03
资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300803); 国家自然科学基金项目(41401327); 河南省科技厅基金项目(192102110161); 河南省教育厅基金项目(20A210024)
第一作者: 周孟棕(1996—), 男, 硕士研究生, 主要从事资源利用与植物保护研究。E-mail: zml19960620@163.com
通信作者: 刘芳(1973—), 女, 硕士, 副教授, 主要从事土壤化学与植物营养研究。E-mail: f-liu113@163.com
赵颖(1980—), 女, 博士, 副教授, 主要从事土壤环境化学研究。E-mail: zhaoyingspring@163.com

Keywords: straw returning to the field; C/N ratio; microbial activity; soil aggregate

随着我国粮食单产水平的提高,作物秸秆产量也随之增长。有数据^[1]表明,2019 年中国秸秆理论产量达 8.4 亿 t,其中玉米、小麦、水稻等 3 种作物秸秆占秸秆总量的 83%。秸秆还田作为一种用养结合的农业管理措施,目前已经是常年坚持的一项农业生产的关键技术^[2]。秸秆还田能有效增加土壤养分含量,改良土壤结构,是培肥地力的有效措施^[3]。

秸秆还田对土壤肥力和作物生产方面有很多益处,但由于作物秸秆的主要组成是纤维素、半纤维素和木质素,C/N 较高,自然状态下难以被微生物分解^[4],而秸秆还田配施氮肥可提高土壤微生物生物活性,加速秸秆降解,增加土壤养分含量^[5-6]。马想等^[7]研究表明,玉米秸秆还田及施氮调节 C/N 至 37:1 以下,可进一步促进秸秆还田后养分的释放和微生物量的增长,对红壤微生物量碳、氮含量有明显促进作用。单颖等^[8]研究发现,甘蔗叶还田配施氮肥能显著提高土壤微生物数量和活性,提高土壤有机碳积累。李威等^[9]研究表明,水稻秸秆还田配施氮肥可提高砂质土壤养分含量和土壤酶活性,当秸秆还田配施氮肥调节 C/N 为 15 时效果最明显。李涛等^[10]研究发现,秸秆还田配施氮肥能显著提高土壤无机氮含量,C/N 为 25:1 时对微生物量氮的提高最为明显。

河南省是我国重要的粮食主产区之一,石灰性砂质潮土是河南省主要耕地土壤类型^[8]。该类型土壤秸秆还田配施氮肥研究相对较少,因此,本试验在室内培养条件下以秸秆配施氮肥为切入点,以砂质潮土为对象,研究不同配施比例对其理化性质及微生物活性的影响,以期为该地区秸秆与氮肥合理配施、提高土壤肥力、实现农业的可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤概况

供试土壤源于河南省民权县龙塘镇 0—20 cm 农田耕层土壤,属典型砂质潮土,有机碳、全氮含量分别为 7.66,0.70 g/kg,碱解氮、有效磷(P₂O₅)、速效钾(K₂O)含量分别为 44.79,9.42,60.32 mg/kg,pH 为 7.5;土壤物理性砂粒、物理性黏粒分别占 80.08%,19.92%。

供试秸秆采自河南农业大学原阳科教园区成熟期玉米秸秆,秸秆经过烘干,粉碎约 5 mm 后备用。供试秸秆总碳含量为 449.29 g/kg,总氮含量为 6.29 g/kg,C/N 为 71.3。供试氮肥为分析纯尿素(CO(NH₂)₂)。

1.2 试验设计

土壤过 2 mm 筛,首先,将土壤水分调节为相对含水量的 60%,置于恒温培养箱内 25 ℃ 预培养 7 天。然后装入带盖有孔塑料盆,每盆装 150 g 风干

土,添加 0.5 g 粉碎秸秆(相当于秸秆还田量 7 500 kg/hm²)并混匀,根据秸秆的含碳量,添加不同尿素量,分别用 SN1、SN2、SN3、SN4、S 表示,并设单施氮肥处理(N),同时以不施肥为对照(CK),共 7 个处理,每个处理重复 6 次,试验各处理的秸秆及尿素用量见表 1。将所有样品于 25 ℃ 恒温培养箱中进行培养,采用称重法控制含水量为相对含量水量 60%。

表 1 各处理秸秆及尿素用量

处理	秸秆量/ (g · kg ⁻¹)	尿素量/ (g · kg ⁻¹)	C/N
CK	0	0	—
N	0	0.213	0
N	0	0.210	0
SN1	33.33	0.320	9.0
SN2	33.33	0.213	12.5
SN3	33.33	0.086	25.0
SN4	33.33	0.033	40.0
S	33.33	0	71.0

1.3 样品的采集与处理

培养 360 天后,每个处理取 3 个重复。土壤一部分于 4 ℃ 冰箱中保存鲜样,用于微生物量碳、氮测定;另一部分风干过筛,用于土壤有机碳、脲酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶的测定以及土壤团聚体的分级。

1.4 测定方法

土壤微生物量碳(SMBC)、微生物量氮(SMBN)采用氯仿熏蒸—K₂SO₄浸提法^[11]测定。参照关松荫^[12]的方法对土壤酶活性进行测定。土壤有机碳采用重铬酸钾容量—外加热法^[7]进行测定。采用湿筛法测定土壤团聚体,具体方法为:称取 50.0 g 风干土样,用蒸馏水浸泡 10 min。将土样倒入包含 1,0.5,0.25,0.053 mm 的 4 种筛孔的套筛上,上下振动筛子,振幅 3.8 cm,振频 30 次/min,振荡时间 30 min,使得土样依次通过 1,0.5,0.25,0.053 mm 的土筛,用水将各级筛子上的团聚体冲洗至铝盒中,60 ℃ 下烘干,称重。<0.053 mm 的团聚体静置 48 h 后弃去上清液,烘干,称重。

团聚体稳定性分析:利用各粒级团聚体的数据,计算各处理团聚体 MWD、GMD 和 R_{0.25},公式为(1)~(3)所示。

$$MWD=\sum_{i=1}^n(\overline{x_iw_i}) \tag{1}$$

$$GMD=\exp(\frac{\sum_{i=1}^n(m_i\ln \overline{x_i})}{\sum_{i=1}^nm_i}) \tag{2}$$

$$R_{0.25}=\frac{M_{T>0.25}}{M_T} \tag{3}$$

式中:MWD 为土壤团聚体的平均重量直径(mm);GWD 为土壤团聚体的几何平均直径(mm); $R_{0.25}$ 为 >0.25 mm 团聚体的含量(%); x_i 为 i 粒级团聚体的平均直径(mm); w_i 为 i 粒级团聚体质量所占的百分比(%); m_i 为土壤各个粒级团聚体的质量(g); M_T 为全部团聚体总质量(g)。

1.5 数据分析与处理

文中数据为 3 次重复的平均值,使用 DPS 7.05 软件,采用 Duncan 新复极差法比较不同处理间各种指标之间的差异;使用 Origin Pro 8.5 软件进行制图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤有机碳、微生物量碳、氮的影响

由表 2 可知,秸秆配施氮肥对土壤有机碳、微生物量碳(SMBC)和微生物量氮(SMBN)含量影响明显。在培养 360 天后,土壤有机碳含量随尿素施用量的减少呈先增加后降低趋势。与 CK 相比,添加氮素处理对土壤有机碳含量影响不显著($P<0.05$),而添加玉米秸秆后各处理均可提高土壤有机碳含量,各处理大小顺序为 $SN3>SN2>SN4>S>SN1$,分别提高 41.90%,34.38%,33.35%,30.11%,29.04%。与 CK 相比,添加氮素各处理微生物量碳(SMBC)含量差异不显著($P<0.05$),而添加秸秆各处理显著增加了土壤微生物量碳量($P<0.05$)。秸秆配施氮肥时,SMBC 含量随氮素用量的减少呈现先升高后降低趋势,其中,SN2 处理 SMBC 的含量最高,为 232.6 mg/kg。添加秸秆配施氮肥各处理 SMBC 含量较 CK 分别显著提高 53.34%,90.33%,82.39%,75.84%($P<0.05$)。土壤中秸秆与氮肥配施及单施秸秆各处理 SMBN 含量均显著高于 CK 处理($P<0.05$),SN3 处理 SMBN 含量最高,为 25.1 mg/kg。较 CK 分别显著增加 38.67%($P<0.05$),SN1、SN2、SN4 较 CK 分别显著增加 25.41%,32.04%,27.07%($P<0.05$)。可见,秸秆配施氮肥有助于土壤有机碳、土壤微生物量碳和微生物量氮含量的提升,能显著增加其含量。

表 2 不同处理对土壤有机碳和微生物量碳、氮含量影响			
处理	有机碳/ (g·kg ⁻¹)	微生物量碳/ (mg·kg ⁻¹)	微生物量氮/ (mg·kg ⁻¹)
CK	7.88±0.32b	122.21±2.91d	18.10±1.44d
N	7.92±0.10b	139.90±3.84d	16.20±0.62e
SN1	10.17±0.36a	187.40±1.01c	22.70±0.44c
SN2	10.59±0.24a	232.60±1.25a	23.90±0.44abc
SN3	11.18±1.01a	222.90±9.76a	25.10±1.32a
SN4	10.51±0.89a	214.90±1.21abc	23.00±0.17bc
S	10.25±0.40a	194.70±2.95bc	24.70±0.70ab

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.2 不同处理对土壤酶活性的影响

由表 3 可知,培养 360 天后,各处理脲酶活性均显著高于 CK 处理($P<0.05$),随着尿素施用量的减少呈现先增加或降低趋势,其大小顺序为 $SN3>SN2>S>SN4>SN1$,较 CK 显著提高 35.29%~48.53%($P<0.05$),其中,以 SN3 处理脲酶活性最高,为 1.01 mg/g。各处理多酚氧化酶活性均显著高于 CK 处理,显著提高了 36.67%~57.50%($P<0.05$),其中,以单施秸秆处理多酚氧化酶(PPO)活性最高,为 1.84 mg/g。氮素处理(N)最低,较 CK 处理显著降低 19.7%($P<0.05$)。单施秸秆(S)处理土壤过氧化氢酶(CAT)活性最高,氮素处理过氧化氢酶活性最低,除 SN1 外各处理较 CK 处理无明显差异($P<0.05$)。秸秆配施氮肥处理 SN2、SN3、SN4 较 SN1 差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同处理对土壤酶活性影响			
处理	脲酶/ (mg·g ⁻¹ ·24 h ⁻¹)	多酚氧化酶/ (mg·g ⁻¹ ·3 h ⁻¹)	过氧化氢酶/ (mL·g ⁻¹ ·20 min ⁻¹)
CK	0.68±0.06f	1.20±0.07c	1.54±0.01bc
N	0.89±0.05e	0.97±0.06d	1.52±0.03d
SN1	0.92±0.04b	1.64±0.05b	1.54±0.01c
SN2	0.98±0.09d	1.82±0.15a	1.56±0.01b
SN3	1.01±0.04a	1.84±0.19a	1.55±0.02b
SN4	0.95±0.07c	1.69±0.09b	1.56±0.01b
S	0.97±0.07b	1.89±0.07a	1.56±0.01a

注:脲酶活性单位以 24 h 后 1 g 土壤中 NH_4^+-N 的质量表示(mg/(g·24 h));多酚氧化酶活性单位以 3 h 后 1 g 土壤中紫色没食子素的质量表示(mg/(g·3 h));过氧化氢酶活性单位表示以 1 g 干土 20 min 内消耗的 0.02 mol/L $KMnO_4$ 体积数表示(mL/(g·20 min))。

2.3 不同处理对各粒级土壤团聚体含量的影响

由图 1 可知,与 CK 处理相比,秸秆配施氮肥各处理均能促进 $>1, 0.5\sim1, 0.25\sim0.5$ mm 粒级团聚体的形成,而降低 <0.053 mm 的微团聚体数量,较 CK 显著提高 >1 (15%~105%), $0.5\sim1$ (19.48%~114.53%), $0.25\sim0.5$ mm (4.02%~61.49%)($P<0.05$)团聚体数量。培养 360 天后,SN2 处理 >0.25 mm 大团聚体含量最高,较 CK 处理提高 65.22%($P<0.05$)。此外,秸秆配施氮肥各处理显著降低 <0.053 mm 微团聚体数量,降低幅度为 11.12%~36.58%($P<0.05$)。可见,秸秆配施氮肥能不同程度促进大团聚(>0.25 mm)的形成,其中,SN2 处理对促进 >25 mm 粒级的大团聚体形成效果最好。

2.4 不同处理对土壤团聚体稳定性的影响

由表 4 可知,秸秆与氮肥配施各处理均能显著提高土壤 MWD、GMD 和 $R_{0.25}$ ($P<0.05$)。可见,秸秆与氮肥配施较 CK 处理更有利于团聚体的稳定性。培养 360 天后,随着尿素施用量的减少 MWD、GMD

均呈现先升高后降低趋势,SN2 处理 MWD、GMD 最高,分别为 0.209,0.140。秸秆与氮肥配施各处理 MWD、GMD 较 CK 分别提升 12.16%~41.22%,11.38%~32.08%($P<0.05$)。秸秆与氮肥配施各处理 >0.25 mm 团聚体的含量均显著高于 CK,其中 SN2 处理最高,为 21.5%,较 CK 显著提升 91.96%,SN1 最低,较 CK 显著提升 25.89%($P<0.05$)。单施氮肥处理较 CK 差异不显著($P<0.05$)。

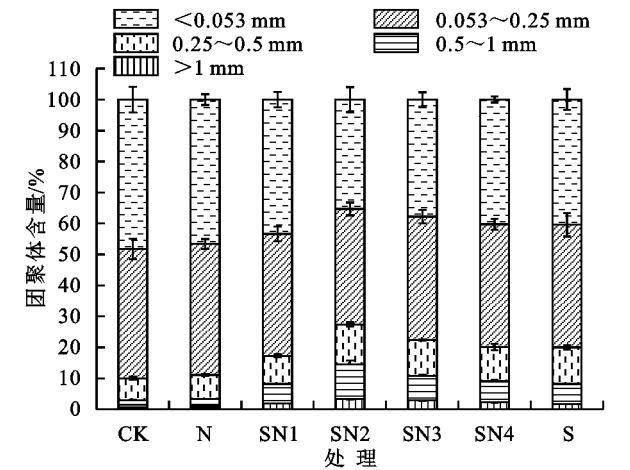


图 1 不同处理各粒径土壤团聚体含量

2.5 有机碳与团聚体、酶活性、微生物量碳、氮的相关分析

由表 5 可知,土壤有机碳与脲酶、多酚氧化酶、微生物

量碳、氮以和 MWD、GMD 呈极显著正相关($P<0.01$)。表明有机碳与脲酶、多酚氧化酶、微生物量碳、氮和 MWD、GMD 之间存在密切联系。有机碳含量的增加有助于土壤团聚体稳定性、脲酶和多酚氧化酶活性以及微生物量碳、氮含量的提高。土壤多酚氧化酶和微生物量碳、氮均与土壤团聚体 MWD、GMD 呈极显著正相关($P<0.01$),脲酶与 MWD、GMD 活性均呈显著正相关($P<0.05$)。表明团聚体稳定性与脲酶、多酚氧化酶活性以及微生物量碳、氮含量有关。相关分析表明,有机碳含量与土壤脲酶、多酚氧化酶活性、土壤微生物量碳、氮含量和团聚体 MWD、GMD 之间具有关联性。这说明有机碳含量、土壤脲酶和多酚氧化酶活性、微生物量碳、氮含量和土壤团聚体 MWD、GMD 是影响土壤肥力的关键因子。

表 4 不同处理对土壤团聚体稳定性的影响

处理	MWD	GMD	$R_{0.25}/\%$
CK	0.148e	0.106e	11.2f
N	0.148e	0.107e	11.4f
SN1	0.166d	0.118d	14.1e
SN2	0.209a	0.140a	21.5a
SN3	0.191b	0.131b	17.5c
SN4	0.189b	0.131b	20.2b
S	0.179c	0.126c	16.6d

注:培养时间 360 天。

表 5 有机碳与团聚体、酶活性、微生物量碳、氮的相关分析

指标	有机碳	脲酶活性	多酚氧化酶活性	过氧化氢酶活性	微生物量碳	微生物量氮	MWD	GMD
有机碳	1.000							
脲酶活性	0.700**	1.000						
多酚氧化酶活性	0.875**	0.623**	1.000					
过氧化氢酶活性	0.261	-0.211	0.464*	1.000				
微生物量碳	0.872**	0.674**	0.881**	0.209	1.000			
微生物量氮	0.880**	0.669**	0.972**	0.374	0.863**	1.000		
MWD	0.778**	0.488*	0.826**	0.301	0.942**	0.946**	1.000	
GMD	0.808**	0.513*	0.854**	0.334	0.783**	0.834**	0.956**	1.000

注: ** 表示在 $P<0.01$ 水平极显著相关; * 表示在 $P<0.05$ 水平显著相关。

3 讨论

3.1 秸秆与氮肥配施对土壤有机碳及微生物量碳氮的影响

本试验表明,秸秆与氮肥配施处理培养 360 天后,各处理有机碳含量均显著提高,有机碳含量随着尿素施用量的减少呈先升高后降低趋势。这可能是由于秸秆还田增施氮肥能提升土壤的氮源和碳源,为土壤微生物活动提供了必要的氮素,使微生物活性增强,分解的秸秆量增多,有机碳含量提高。作物秸秆 C/N 较高通常为 65~85,前期分解过程中,会发生土壤氮素的生物固定现象,从而影响土壤氮素和肥料氮

素的生物有效性,施加的氮素较少时,微生物活动性降低,因此会出现有机碳下降趋势。汤宏等^[13]、李玮等^[14]研究表明,秸秆还田配施氮肥更有利于土壤有机碳的积累,与本研究结果一致。

土壤微生物量碳、氮能反映土壤有效养分状况和微生物活性,在很大程度上能反映土壤微生物数量,是评价土壤肥力的重要指标^[9]。本研究结果显示,秸秆添加处理微生物生物量碳氮显著高于无秸秆添加处理,秸秆添加后 SMBC 和 SMBN 均显著增加。这可能是因为秸秆还田为土壤微生物的生长和繁衍提供了大量碳源,外源碳的输入能激发土壤微生物活性,使

微生物大量繁殖。王士超等^[15]、杨馨逸等^[16]研究发现, 秸秆还田时增加氮肥用量可显著提高土壤微生物数量、微生物量碳、氮和可溶性有机碳、氮含量, 而过量氮肥的施用则会导致土壤微生物数量和活性碳氮组分显著降低, 与本研究结果类似。侯贤清等^[17]研究表明, 同等秸秆还田量条件下, 随着施氮量的减少, 土壤微生物量碳含量呈现先升高后降低趋势, 与本研究结果一致。但土壤微生物量氮含量呈现递减趋势, 与本研究存在差异。可能是因为微生物进行秸秆分解时由氮肥供应的氮素不足以满足其需求, 需消耗秸秆分解后产生的氮素导致土壤微生物量氮降低。

3.2 秸秆与氮肥配施对土壤酶活性的影响

微生物及其分泌的胞外酶活性在秸秆分解过程中起到至关重要的作用, 秸秆的施入可明显促进微生物活动, 从而提高土壤相关酶活性^[18]。本研究发现, 秸秆添加对脲酶、多酚氧化酶的活性都表现为积极作用, 但随着尿素施用量的减少脲酶、多酚氧化酶的活性均呈现出先增加后降低趋势。从 3 种酶活性与各指标的相关分析来看, 脲酶、多酚氧化酶与各指标均呈极显著正相关关系, 这说明酶活性的增加能够加快微生物腐解秸秆, 释放出秸秆中的碳源和氮源, 增加土壤养分, 促进微生物活动。李委涛等^[19]研究表明, 秸秆还田配施氮肥对土壤酶影响较大。杨滨娟等^[20]研究表明, 秸秆还田配施氮肥对根际土壤酶活性(过氧化氢酶、脲酶、转化酶活性)的提高有明显的作用。秦玮玺等^[21]研究发现, 在一定范围内, 氮肥的增加可以激活土壤酶的活性, 但随着氮肥施加量的进一步提高, 土壤酶活性会被抑制, 均与本研究结果类似。相关分析表明, 酶活性与团聚体呈显著正相关, 团聚体作为土壤结构的基本单位, 同时, 也是微生物活动的主要场所, 土壤物质、能量的循环转化主要发生在团聚体内。土壤酶活性的增加, 也使得能量转化过程更加快捷, 从而提高土壤质量。

3.3 秸秆与氮肥配施对土壤团聚体分布及稳定性的影响

土壤团聚体是衡量土壤结构进而判断土壤质量好坏的重要指标, >0.25 mm 的团聚体是土壤中最好的结构体, 其数量与土壤的肥力状况呈正相关关系^[22]。本研究发现, 秸秆配施氮肥能显著增加大颗粒团聚体的比例, 提高土壤团聚体的稳定性。孟庆英等^[23]研究表明, 秸秆还田优化施肥处理对于 ≥0.25 mm 的土壤团粒结构体比例提升效果最为显著; 高鸣慧等^[24]研究发现, 秸秆还田后微团聚体向大团聚体转变, 显著提高土壤团聚体的稳定性。本试验研究发

现, 在培养 360 天后, 土壤团聚体 MWD、GMD 与土壤有机碳含量呈极显著正相关, 因此, 土壤团聚体 MWD、GMD 与土壤有机碳含量呈现出相同的变化趋势, 这可能是由于土壤有机碳在土壤团聚体形成过程中起到胶结作用使土壤团聚体稳定性受土壤结构以及有机碳含量的影响, 与王学霞等^[25]研究结果一致。同时, 土壤团聚体 MWD、GMD 与微生物量碳、氮以及脲酶、多酚氧化酶活性也呈现极显著正相关关系, 这说明秸秆配施氮肥能增加土壤有机质含量和微生物量含量, 提高脲酶和多酚氧化酶活性。

4 结 论

秸秆配施氮肥能显著增加砂质潮土有机碳含量, 增加土壤碳源和氮源, 提高土壤脲酶、多酚氧化酶的活性; 有助于土壤中大团聚体的形成, 能显著增加土壤团聚体的平均重量直径和几何平均直径, 提高土壤大团聚体(>0.25 mm)比例, 增强团聚体的稳定性, 改善土壤结构。秸秆与氮肥配施添加尿素量为 0.213 g/kg 时, 最有利于增强土壤微生物碳含量, 提高大颗粒团聚体比例团聚体(>0.25 mm)比例以及团聚体的稳定性; 添加尿素量为 0.086 g/kg 时则对土壤有机碳含量、土壤微生物氮含量影响较为突出。

参考文献:

[1] 谢洪宝, 于贺, 陈一民, 等. 秸秆深埋对不同氮肥水平土壤蔗糖酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(24): 79-83.

[2] 高焕平, 刘世亮, 赵颖, 等. 秸秆与氮肥调节 C/N 比对潮土 CH₄、CO₂ 和 N₂O 排放/吸收的影响[J]. 土壤通报, 2019, 50(1): 157-164.

[3] 薛斌, 黄丽, 鲁剑巍, 等. 连续秸秆还田和免耕对土壤团聚体及有机碳的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 182-189.

[4] 袁嫚嫚, 邹刚, 胡润, 等. 秸秆还田配施化肥对稻油轮作土壤有机碳组分及产量影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 27-35.

[5] 张鑫, 周卫, 艾超, 等. 秸秆还田下氮肥运筹对夏玉米不同时期土壤酶活性及细菌群落结构的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(2): 295-306.

[6] Shaukat A A, Tian X H, Wang D, et al. Decomposition characteristic of maize straw with different carbon to Nitrogen (C/N) ratios under various moisture regimes [J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(50): 10149-10156.

[7] 马想, 黄晶, 赵惠丽, 等. 秸秆与氮肥不同配比对红壤微生物量碳氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(6): 1574-1580.

[8] 单颖, 田路园, 邹雨坤, 等. 调节碳氮比对甘蔗叶还田后土壤无机氮、微生物量氮、水溶性有机碳含量和脲酶活

性的影响[J].热带作物学报,2017,38(11):2003-2007.

[9] 李威,成永旭,孙颖,等.秸秆还田配施氮肥对冬春季稻虾田水质、土壤养分及酶活性的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(7):1051-1060.

[10] 李涛,何春娥,葛晓颖,等.秸秆还田施氮调节碳氮比对土壤无机氮、酶活性及作物产量的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(12):1633-1642.

[11] 赵士诚,曹彩云,李科江.长期秸秆还田对华北潮土肥力、氮库组分及作物产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1441-1449.

[12] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.

[13] 汤宏,沈健林,张杨珠,等.秸秆还田与水分管理对稻田土壤微生物量碳、及溶解性有机碳、氮的影响[J].水土保持学报,2013,27(1):240-246.

[14] 李玮,乔玉强,陈欢,等.玉米秸秆还田配施氮肥对冬小麦土壤氮素表观盈亏及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(3):561-570.

[15] 王士超,闫志浩,王瑾瑜,等.秸秆还田配施氮肥对稻田土壤活性碳氮动态变化的影响[J].中国农业科学,2020,53(4):782-794.

[16] 杨馨逸,刘小虎,韩晓日.施氮量对不同肥力土壤氮素转化及其利用率的影响[J].中国农业科学,2016,49(13):2561-2571.

[17] 侯贤清,李荣,吴鹏年,等.秸秆还田配施氮肥对土壤碳氮含量与玉米生长的影响[J].农业机械学报,2018,49(9):238-246.

[18] 马南,陈智文,张清.不同类型秸秆还田对土壤有机碳及酶活性的影响综述[J].江苏农业科学,2021,49(3):53-57.

[19] 李委涛,李忠佩,刘明,等.秸秆还田对瘠薄红壤水稻土团聚体内酶活性及养分分布的影响[J].中国农业科学,2016,49(20):3886-3895.

[20] 杨滨娟,黄国勤,钱海燕.秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响[J].土壤学报,2014,51(1):150-157.

[21] 秦玮玺,斯贵才,雷天柱,等.氮肥添加对土壤微生物生物量及酶活性的影响[J].江苏农业科学,2021,49(1):170-175.

[22] 郑梅迎,刘玉堂,张忠锋,等.秸秆还田方式对植烟土壤团聚体特征及烤烟产质量的影响[J].中国烟草科学,2019,40(6):11-18.

[23] 孟庆英,邹洪涛,韩艳玉,等.秸秆还田量对土壤团聚体有机碳和玉米产量的影响[J].农业工程学报,2019,35(23):119-125.

[24] 高鸣慧,李娜,彭靖,等.秸秆和生物炭还田对棕壤团聚体分布及有机碳含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2020,26(11):1978-1986.

[25] 王学霞,张磊,梁丽娜,等.秸秆还田对麦玉系统土壤有机碳稳定性的影响[J].农业环境科学学报,2020,39(8):1774-1782.

(上接第 339 页)

[13] 陈翰博.生物质炭对 Cd-DEHP 复合污染土壤中污染物生物有效性和作物生长的影响[D].杭州:浙江农林大学,2019.

[14] 杨兴,黄化刚,王玲,等.烟秆生物质炭热解温度优化及理化性质分析[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2016,42(2):245-255.

[15] 陈红霞,杜章留,郭伟,等.施用生物炭对华北平原农田土壤容重,阳离子交换量和颗粒有机质含量的影响[J].应用生态学报,2011,22(11):2930-2934.

[16] 孔爱辉,耿玉清,余新晓.北京低山区栓皮栎林和油松林土壤酶活性研究[J].土壤,2013,45(2):264-270.

[17] 刘玮晶,刘烨,高晓荔,等.外源生物质炭对土壤中铵态氮素滞留效应的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(5):962-968.

[18] 欧巧菁,杨悦,梁伟杰,等.薇甘菊叶片水提液对土壤钾素活化及酶活性的影响[J].华南师范大学学报(自然科学版),2020,52(1):63-69.

[19] Schneider F, Haderlein S B. Potential effects of biochar on the availability of phosphorus-mechanistic insights[J].Geoderma,2016,277:83-90.

[20] Xiao Y L, Xue Y W, Gao F, et al. Sorption of heavy metal ions onto crayfish shell biochar: effect of pyrolysis temperature, pH and ionic strength[J].Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers,2017,80:114-121.

[21] Pan H, Yang X, Chen H B, et al. Pristine and iron-engineered animal- and plant-derived biochars enhanced bacterial abundance and immobilized arsenic and lead in a contaminated soil[J].Science of the Total Environment,2021,763:e144218.

[22] 吴永军.利用纤维素酶降解水溶性壳聚糖的研究[J].荆楚理工学院学报,2011,26(5):5-9.

[23] 黎森,王敦球,于焕云.铅-砷交互作用影响小白菜生长及铅砷积累的效应研究[J].生态环境学报,2019,28(1):170-180.

[24] 连娟,郭再华,贺立源.砷胁迫下磷用量对不同磷效率水稻苗生长、磷和砷吸收的影响[J].中国水稻科学,2013,27(3):273-279.

[25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.GB 2762—2017 食品中污染物限量[S].北京:中国标准出版社,2018.