Influence of Different Modes of Straw Return on Characteristics of Cinnamon Soil Water Stable Aggregates and Soil Properties

Zhifan Zhu¹, Bing Chen¹, Guangna Zhang^{1*}, Yun Wang², Xianqi Huo¹, Dinghao Deng², Junxiang Yu¹, Yaqin Zheng¹

Email: *gnzhang@lyu.edu.cn

Received: Jul. 4th, 2019; accepted: Jul. 22nd, 2019; published: Jul. 29th, 2019

Abstract

The study researched on cinnamon soil in this area under different modes of straw return. Six treatments were set up as Control, (no fertilizer, no straw); C (chemical fertilizer input); Straw mulch (SM20, 20% of straw mulch with fertilizer); SR20 (20% straw return with fertilizer); SA20 (20% straw ash with fertilizer); Straw combustion (SC20, 20% of straw combustion with fertilizer), the treatments with chemical fertilizer were applied with the same amount. After 4 years of field experiment, 0 - 10 cm soil was collected for analysis of characteristics of cinnamon soil water stable aggregates, soil chemical properties, as well as RDA relationship between them. Results showed that, all treatments beside C, the proportion of different grades of water stable aggregates were trended as 0.5 - 1 mm, <0.25 mm, 0.25 - 0.5 mm, 1 - 2 mm, >2 mm from large to small; Treatments of C, SR20 and SC20 increased >2 mm aggregates significantly; SM20, SR20 and SC20 increased 1 - 2 mm aggregates significantly; Treatments with chemical fertilization reduced 0.5 - 1 mm aggregates; Fertilization treatments all increased 0.25 - 0.5 mm aggregates except SC20; Only C treatment could increase < 0.25 mm aggregate. RDA analysis showed that 0.5 - 1 mm aggregate, soil organic matter content, soil resin-P and nitrate nitrogen concentration are related to axis 1, which explained 57.2% of total variable; Soil available P and NO₃-N concentration are positively related with <0.25 mm aggregate; Soil NH₄⁺-N and CaCO₃ contents positively related with 1 - 2 mm aggregate and mean weight diameter. Results indicated that 4 years of straw return and straw combustion had more stable aggregates than other treatments, high amount of soil NH₄-N and resin-P concentration were found in SC20 treatment, while all modes of straw input to soil could maintain more resin-P and NO₃-N than control treatment. RDA analysis showed proportion of different soil aggregate grade influenced soil available nutrients contents and stable characteristics of water stable aggregate.

Keywords

Straw Return Modes, Cinnamon Soil, Water Stable Aggregates, Mean Weight Diameter, RDA Analysis

¹College of Agriculture and Forestry Science, Linyi University, Linyi Shandong

²College of Resources and Environment, Linyi University, Linyi Shandong

^{*}通讯作者。

秸秆还田对褐土水稳性团聚体特征 及土壤化学性质的影响

朱志凡1,陈冰1,张广娜1*,王芸2,霍宪启1,邓丁浩2,于军香1,郑亚琴1

¹临沂大学农林科学学院,山东 临沂 ²临沂大学资源环境学院,山东 临沂

Email: *gnzhang@lyu.edu.cn

收稿日期: 2019年7月4日; 录用日期: 2019年7月22日; 发布日期: 2019年7月29日

摘要

为探讨不同玉米秸秆不同方式还田对褐土水稳性团聚体特征及土壤理化性状的影响,于处理4年后2017年6月采集对照不施肥(CK)、施肥(C)、20%秸秆覆盖(SM20)、20%秸秆还田(SR20)、20%秸秆灰分(SA20)和20%秸秆焚烧(SC20)处理0~10 cm层的原状土壤,通过室内筛分处理后,测定土壤水稳性团聚体特征及土壤化学性质。研究表明,除C处理外,水稳性团聚体分布从大到小依次为0.5~1 mm, <0.25 mm, 0.25~0.5 mm, 1~2 mm, >2 mm; SR20和SC20处理平均重量直径(MWD)最高;处理C、SR20和SC20显著增加>2 mm粒级团聚体含量;SM20、SR20和SC20处理显著增加1~2 mm粒级含量;各施肥处理显著降低0.5~1 mm粒级含量;格肥处理除SC20外,均显著增加0.25~0.5 mm粒级含量;仅C处理显著增加<0.25 mm粒级含量。冗余分析发现0.5~1 mm粒级水稳性团聚体含量、土壤有机质(OM)含量、有效磷(resin-P)含量、硝态氮(NO3-N)含量与主轴相关,可解释总变量的57.2%;土壤有效磷含量、土壤NO3-N含量与<0.25 mm粒级团聚体含量呈正向相关;土壤NH4-N含量、CaCO3含量与1~2 mm粒级团聚体含量和MWD呈正向相关。秸秆还田和秸秆焚烧4年后土壤水稳性团聚结构最稳定,秸秆焚烧处理土壤铵态氮和有效磷含量最高,各种秸秆方式还田均能维持较高的有效磷和硝态氮含量;冗余分析结果表明,不同粒级水稳性团聚体含量分布对土壤有效养分含量及团聚体的稳定性影响不一。

关键词

还田方式,褐土,水稳性团聚体,平均重量直径,冗余分析

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY). http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



Open Access

1. 引言

土壤团聚体是由有机质和矿物颗粒等土壤成分在冻融交替、干湿等自然条件下而形成的大小不同的多孔单元[1] [2]。依据稳定性可分为水稳定性团聚体(抗水力分散)、稳定性团聚体(抗外力分散)、非稳定性团聚体(外力易分散) 三类。其中稳定性团聚体为作物传输土壤养分、空气和水分,而非稳定性团聚体在破碎后发生迁移,从而堵塞孔隙,阻挡土壤水分和养分的迁移,加剧土壤侵蚀和地表径流[3]。而具有良好水稳性团聚体结构的土壤,能够满足植物对养分、空气和水分的需求,且具有良好的抗冲抗蚀性能[4]。

秸秆还田是现代农业生产过程的重要技术措施,具有增加作物产量,提高土壤有机质含量,减少温

室气体排放,增加土壤微生物生物量,改善农田生态环境的作用[5] [6] [7]。秸秆作为重要的有机物料来源,我国年产 8.1 亿吨[8],但现阶段我国秸秆利用率还较低。作为土壤有机物料输入的主要来源和控制秸秆焚烧的主要举措,秸秆还田对土壤改良和大气环境保护均具有积极意义。

秸秆还田对不同土壤类型及耕作方式下的土壤团聚体影响差异较大。冀保毅等(2015)研究发现,秸秆还田可增加黏土和壤土机械稳定性和水稳性团聚体的平均重量直径,从而使团聚体的稳定性增加[9]。安婉丽等(2016)研究发现秸秆还田对早稻田土壤水稳性团聚体的稳定性影响不显著,但对晚稻田土壤水稳性团聚体稳定性影响显著[10]。杨燕等(2016)研究发现套作玉米并且秸秆还田能够提高连作西兰花田耕作层土壤水稳定性大团聚体比例,同时改善由于连作而导致的土壤理化性状恶化[11]。

山东省临沂市作为北方典型的土石山区,褐土分布面积占 50%,肥力较低,水土流失严重,因劳力 匮乏,秸秆焚烧及灰分还田等传统农业管理方式仍然存在,为研究不同玉米秸秆还田方式会对褐土土壤 肥力及其土壤水稳性团聚体的影响,设置了玉米秸秆还田试验区探讨玉米秸秆还田后对褐土水稳性团聚 体的影响,为山东丘陵地区玉米秸秆还田提供数据支撑和理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验设计与采样

试验所用土样取自山东省水土保持与环境保育重点实验室试验田,位于临沂市费县八里庄(117°54′E, 35°13′N),属温带季风区大陆性气候,四季分明,气温适宜,全年平均气温 14.1℃,极端最高气温 39℃,最低气温-24.1℃,年均日照时数 2462.3 h,年平均降水量 849 mm,全年无霜期 200 天以上。

土壤类型为褐土,本区域典型种植模式为冬小麦-夏玉米轮作,本试验处理开始于 2013 年 10 月,设置 6 个处理: 1) 不施肥不施秸秆(CK); 2) 施肥不施秸秆(C); 3) 20%秸秆覆盖(SM20); 4) 20%秸秆还田(SR20); 5) 20%秸秆焚烧(SC20); 6) 20%秸秆灰分(SA20)。每处理 4 次重复,试验小区面积为 3 × 4 m,行间设置 1 m 宽的保护行。除对照不施肥处理外,其它各处理每季作物均施用 150 kg N/ha,45 kg P/ha,45 kg K/ha 的复合肥,作为基肥在播种时施入,施肥处理仅施用复合肥,不施用秸秆。秸秆还田处理为玉米收获后将玉米秸秆粉碎成 1 cm 小段,按照处理称重均匀散施在土壤表面并翻耕入土,秸秆覆盖(SM)处理撒在表面后不做翻耕处理,秸秆焚烧处理则是将秸秆风干后应用整株覆盖小区表面进行焚烧,播种时随机器翻耕入土,秸秆灰分将秸秆在其它地方焚烧后再撒回该小区,上述处理于每年玉米收获后 10 月份进行,每年一次。

土壤样品于 2017 年 6 月采集(秸秆还田四次后),采样深度为 0~10 cm。每个试验小区随机选取三个点,清除土壤表面的石块、杂质和作物残根后,分别采集三块原状土壤收集到硬质塑料盒中。土壤样品运回实验室后立即将土样过 7 mm 筛,部分土样过 2 mm 筛并留存部分鲜样置于 4℃冰箱冷藏(用于常规土壤化学性质分析),再将剩余 7 mm 和 2 mm 土样置于阴凉通风处自然风干后封袋保存。部分 2 mm 风干土样研磨过 100 目筛用于土壤有机碳含量及碳酸钙含量测定。

2.2. 研究方法

土壤水稳性团聚体采用湿筛法测定[10]: 每土样取 50 g,置于振动筛分仪,套筛孔径依次为 2、1、0.5、0.25 mm,底部为托盘,托盘一侧有直径为 10 mm 的出水口,便于水流出。一次分析一个土样,将土样倒入套筛顶部后,轻轻用药匙将土样展平,然后用洗瓶将土样全部均匀浸湿(洗瓶水量为 1 L)。浸湿完毕后,将套筛固定,开启振动筛分仪(ORTO ALRESA OA SS203,西班牙),将功率设定为最大功率的20%,振动间隔时间为 10 s,时间为 1 min。筛分完毕后,将各孔径套筛拆开,用洗瓶将留在套筛上的团聚体洗入铝制盒,待土壤完全沉淀后用注射器将分离层的水尽量吸出,余下水土混合样放入 80° C的烘箱

内烘干,烘干后称重。土壤水稳性团聚体回收率公式如下: $R = \frac{W}{50} \times 100\%$, 在此式中,R 为实验后土壤水稳性团聚体的回收率,用%表示; W 为每个土样各粒级土壤样品烘干后总质量,用 g 表示。土壤水稳性团聚体所占百分比公式如下: $W_i = \frac{WWi}{W} \times 100\%$, 在此式中, W_i 为水稳性团聚体在某一粒径范围内的质量分数,用%表示;而 W_{Wi} 则为该粒级水稳性团聚体烘干后质量,用 g 表示; W 为土壤样品烘干后总质量,用 g 表示[12]。平均质量直径 MWD: $MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i$, 在此式中,X 为 i 粒级团聚体的平均直径; W_i 为 X_i 相对应的粒级团聚体占总重的百分比含量[13]。

土壤 pH 值采用 1:2.5 土水比, pH 计测定; 土壤含水量采用重量法测定(105℃烘干); 土壤有效氮采用氯化钾溶液浸提、铵态氮含量采用靛酚蓝比色法、硝态氮含量采用双光束紫外分光光度法测定[14]; 土壤有效磷含量采用阴离子交换树脂条结合钼蓝比色法测定[15]; 土壤有机碳含量采用水合热重铬酸钾氧化-比色法、碳酸钙含量采用气量法测定[14]。

2.3. 数据处理

采用软件 SPSS 16.0 对所得数据进行统计分析,采用 one-way ANOVA 进行方差分析,处理间差异采用 Tukey 距离(方差齐性)或 Dunnett's T3 距离(方差不齐),显著性水平为 0.05。土壤理化性质与水稳性团聚体间的关系采用 Canoco 4.5 进行冗余分析方法进行分析,其中,膨胀因子大于 15 的被排除在外。文中图片采用 SigmaPlot 10 软件制作。

3. 结果与分析

3.1. 不同方式秸秆还田对褐土水稳性团聚体分布的影响

经过筛分处理各方式处理下土壤水稳性团聚体回收率均高于 80% (数据未展示)。由表 1 可知,各处理的土壤水稳性团聚体主要集中于 0.5~1 mm 和<0.25 mm 粒径范围。其中,除施肥(C)外,不施肥(CK)、秸秆覆盖(SM20)、秸秆还田(SR20)、秸秆焚烧(SC20)、秸秆灰分(SA20)处理,水稳性团聚体质量百分比分布从大到小依次呈 0.5~1 mm,<0.25 mm,0.25~0.5 mm,1~2 mm,>2 mm 分布趋势。而 C 处理从大到小则呈现<0.25 mm,0.5~1 mm,0.25~0.5 mm,>2 mm 的趋势。由表 1,各处理除 C 处理>0.25 mm的水稳定性团聚体比例低于 70%外,其它各处理该数值均高于 70%,而有机物料输入会显著增加>0.25 mm的水稳定性团聚体含量[16],说明,各种方式秸秆还田后均增加了>0.25 mm的水稳定性团聚体含量。

Table 1. Water stable aggregate composition under different modes of straw return 表 1. 不同方式秸秆还田褐土水稳性团聚体组成

处理	水稳性团聚体各粒级所占比例(%)				
	>2 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
CK	$6.66 \pm 0.42 \text{ dC}$	$11.4 \pm 0.45 \text{ cdCD}$	$41.6 \pm 2.15 \text{ aA}$	$16.4 \pm 0.96 \text{ cD}$	23.9 ± 1.05 bB
C	$11.6 \pm 0.38 \text{ cA}$	$8.61 \pm 0.36 \text{ cD}$	$28.0 \pm 0.76 \ aC$	$19.7 \pm 1.29 \text{ bBC}$	$32.1 \pm 1.41 \text{ aA}$
SM20	$7.67 \pm 0.26~dBC$	$13.7 \pm 0.95 \text{ cBC}$	$34.8 \pm 1.5 \text{ aB}$	$21.6 \pm 0.70 \text{ bAB}$	$22.2 \pm 1.15 \text{ bB}$
SR20	$8.74 \pm 0.57 \text{ dB}$	$17.7 \pm 1.08 \text{ cA}$	$30.2 \pm 0.8~aBC$	$18.8 \pm 0.63~\mathrm{cBC}$	$24.6 \pm 1.60 \text{ bB}$
SA20	$6.79 \pm 0.39 \text{ cC}$	$9.27 \pm 0.25 \text{ cD}$	$33.4 \pm 1.15 \text{ aBC}$	$24.5 \pm 0.97 \text{ bA}$	$26.0 \pm 1.37~bB$
SC20	$9.29 \pm 0.05 \text{ dB}$	$16.2 \pm 0.65 \text{ cAB}$	$32.2 \pm 1.03 \text{ aBC}$	$15.8 \pm 0.55 \text{ cD}$	$26.5 \pm 0.77 \text{ bAB}$

注:表中数据为均值 \pm 标准误;不同小写字母表示同一处理不同粒级间存在显著性差异(p < 0.05);不同大写字母表示同一粒级不同处理间存在显著性差异(p < 0.05)。

同一粒级不同处理间结果比较发现,在>2 mm 粒级团聚体中,与 CK 相比,处理 C、SR20 和 SC20 显著增加该粒级团聚体含量, SM20 处理该粒级团聚体也有提高, 但效果不显著。这是由于化肥和秸秆的 施入促进作物的生长和根系分泌物的增加[1],从而提高土壤团聚程度,与之前研究结果相符[17]。在 1~2 mm 粒级团聚体中,与 C 相比, SM20、SR20 和 SC20 处理显著增加该粒级团聚体含量。秸秆覆盖和还田 后促进植物根系活力和腐殖质形成,从而促使该粒级团聚体形成,秸秆焚烧可能对 > 1 mm 粒级团聚体含 量短期内有增加作用,这与隋雨含等(2015)关于秸秆焚烧会降低大粒级团聚体含量结果不符[18],其原因 一是本试验采样深度为 0~10 cm 相较于 0~2 cm 的采样深度,因焚烧可影响的深度尚不清楚,故结果有所 差异;另一方面,本试验秸秆焚烧后经过小麦季土壤性状较秸秆焚烧完有一定的恢复。而在 0.5~1 mm 粒 级水稳性团聚体中,与 CK 相比,各施肥处理均显著降低了该粒级水稳性微团聚体含量,说明化肥施用对 该粒级团聚体影响最大。其原因一方面可能是化肥单独施用降低土壤微生物多样性,降低微生物活动对土 壤颗粒的团聚作用[19];另一方面肥料结合各方式秸秆还田后团聚体重新分布,倾向于形成更大或更小粒 级团聚体。在 0.25~0.5 mm 粒级的土壤水稳性团聚体中,与 CK 相比,施肥处理除 SC20 外,均显著增加 了该粒级团聚体含量。已有研究表明秸秆焚烧对土壤有机质含量、细菌、真菌和放线菌数量有显著降低作 用,其养分含量在玉米生长季可恢复20%左右,而微生物数量需数月时间才能恢复至原来土壤微生物数量 [20], 这可能是 SC20 处理 0.25~0.5 mm 粒级团聚体含量较低的原因。现有研究对秸秆灰分还田的关注较 少,但是已有研究表明秸秆灰分还田后对土壤速效磷、速效钾含量及饱和持水率有明显的促进作用[21], 对土壤理化性质的改良可能间接影响了土壤 0.25~0.5 mm 粒级团聚体含量。已有研究表明 > 0.25 mm 的水 稳定性团聚体是维持土壤结构稳定的基础,其含量越高,土壤结构的稳定性越大[22],在 < 0.25 mm 粒级 的土壤水稳性团聚体中,仅 C 处理显著增加该粒级水稳性团聚体含量,说明单施化肥处理降低了土壤团 聚体结构的稳定性。

3.2. 不同方式秸秆还田对褐土水稳性团聚体稳定性的影响

平均重量直径(MWD)能较好地反映土壤团聚体的稳定性。从图 1 中可以看出,秸秆灰分(SA20)处理 MWD 值最低,显著低于 C、SR20 和 SC20 处理,与对照 CK 处理相比,SR20 和 SC20 处理 MWD 值显著升高。SM20 处理和 C 处理 MWD 值高于 CK 处理,但是差异并不显著。不同方式秸秆还田 4 年后,0~10 cm 土层 SR20 和 SC20 处理土壤团聚程度最高,其次为 C、SM20 和 CK 处理,SA20 处理土壤团聚程度最低。秸秆还田增加土壤团聚体 MWD 的研究早有报道[23],其原因可能秸秆还田对有机质胶体含

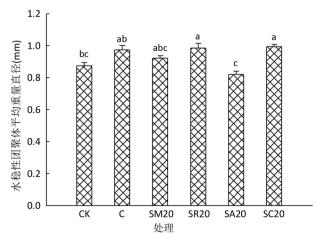


Figure 1. The MWD of water stable aggregate under different modes of straw return

图 1. 不同方式秸秆还田处理水稳性团聚体平均重量直径

量的影响,从而改善颗粒组成情况提高微团聚体的团聚程度。而 SC20 处理团聚程度增高的原因可能是 秸秆焚烧可显著影响土壤不同粒级团聚体结构分布,土壤硬度增加而致[18]。

3.3. 不同方式秸秆还田对土壤化学性质的影响

根据图 2,4 年不同方式秸秆处理对土壤 pH 值无影响。SC20 处理土壤 NH $_4^+$ -N 含量显著高于 CK、C、SM20、SR20、SA20 处理,其原因一方面为焚烧引起的土壤有机氮向无机氮转化,另一方面是秸秆焚烧后的灰渣向土壤提供了大量氮源[20] [24]。与 CK 处理相比,所有施肥处理均可显著提高土壤 NO $_3^-$ -N 含量,C 处理含量最高,其次是 SM20 处理,SA20 和 SC20 处理,SR20 处理。施肥处理 NO $_3^-$ -N 含量高的原因一方面是氮肥的施用造成土壤 NO $_3^-$ -N 含量的累积[25],另一方面,秸秆、灰分、秸秆焚烧的灰渣等有机质和无机矿质元素输入土壤,刺激微生物繁殖后,部分有效氮固持在微生物体内,造成秸秆处理相较于施肥处理 NO $_3^-$ -N 含量低,但随着秸秆还田后养分的释放及微生物代谢释放,硝态氮含量较对照处理仍是增加的。由土壤有效磷(resin-P)含量图可知,所有施肥处理,除 SM20 和 SR20 处理外,均可显著提高土壤有效磷含量。SC20 处理和 SA20 处理显著提高土壤有效磷含量,其原因是秸秆焚烧后生成的灰渣和灰分中含有大量 P 等阳离子及其氧化物,可使土壤中速效磷含量迅速增加[20]。而 SM20 和 SR20 处理与对照相比,有效磷含量无显著变化,其原因可能因秸秆腐解过程中微生物固持所致。

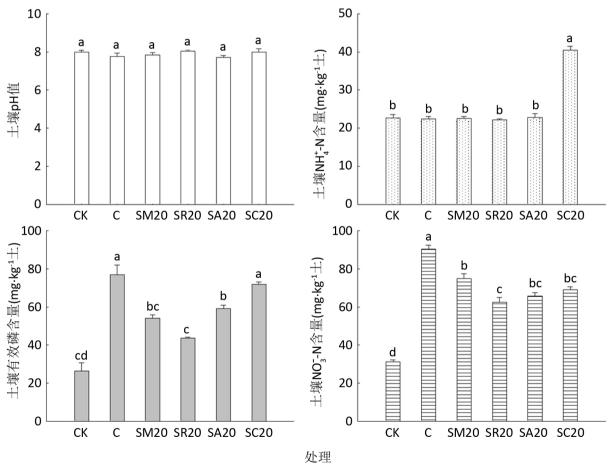


Figure 2. The soil pH, available N and P concentration under different modes of straw return **图** 2. 不同方式秸秆还田处理土壤 pH 及有效氮磷含量

根据图 3,由土壤有机质(OM)含量图可知,SC20处理土壤有机质含量最高,C处理含量最低,单施

化肥处理因 N 含量提高,加速土壤有机质降解消耗的研究早有报道[26],秸秆焚烧处理一般对土壤有机质含量呈现负面影响,焚烧后土壤有机质含量下降的研究结果较多[20] [27],且随着作物生长季的推移,土壤有机质含量会慢慢恢复[20];另外,秸秆焚烧后细菌恢复较快[20],可能会产生一定的激发效应导致土壤有机质含量增加。由土壤碳酸钙(CaCO₃)含量图可知,SM20、SA20、SC20 处理的土壤碳酸钙含量显著低于其它三个处理,一方面,土壤有机碳可驱动碳酸盐溶解[28],此三个处理土壤有机碳含量均较高;另一方面,SA20、SC20 处理碳酸钙含量低的原因可能由灰渣和灰分中的阳离子及其氧化物与 Ca²⁺竞争吸附位点,导致 Ca流失所致。根据何龙(2014)研究,碳酸钙含量高的土壤秸秆还田后 CO₂释放量增加[29],且 CO₂ 的来源为土壤有机碳和无机碳[29] [30],故碳酸钙含量高的石灰性褐土秸秆还田后土壤有机质含量和碳酸钙含量变化差异较大,内在机制有待进一步研究。

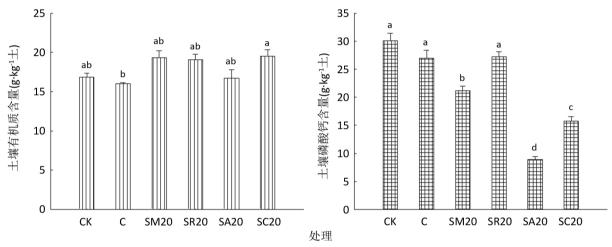


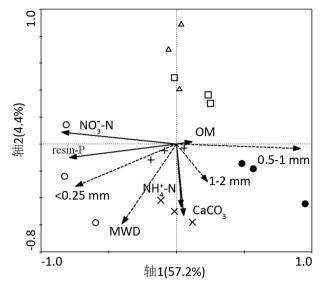
Figure 3. The soil organic matter and CaCO₃ concentration under different modes of straw return 图 3. 不同方式秸秆还田处理土壤有机质及碳酸钙含量

3.4. 土壤水稳性团聚体分布与土壤化学性质间的冗余分析

对土壤水稳性团聚体分布与土壤化学性质应用多元统计分析(冗余分析,RDA)发现(图 4),冗余分析可解释数据总变量的 61.6%,其中因子 1 可解释总变量的 57.2%,因子 2 可解释总变量的 4.4%。由图 4 可知,0.5~1 mm 粒级水稳性团聚体含量和土壤有机质(OM)含量呈密切正相关关系,土壤有效磷含量、土壤 NO₃-N 含量呈密切正相关关系,且与<0.25 mm 粒级团聚体含量正向相关;根据各处理点位分布发现CK 处理分布在最右侧,故其 OM 含量和 0.5~1 mm 含量较高;而 C 处理分布在最左侧,其土壤有效磷含量、土壤 NO₃-N 含量和<0.25 mm 粒级团聚体含量较高,OM 含量和 0.5~1 mm 粒级团聚体含量较低。沿级轴分布的因素有土壤 NH⁺₄-N 含量、CaCO₃含量,与级轴呈密切负相关,另外 1~2 mm 粒级团聚体含量和 MWD 也与级轴呈负向相关关系。根据各处理点位在图中的分布,SM20 处理和 SA 处理对各测定指标影响类似;SC20 处理 NH⁺₄-N 含量、CaCO₃含量、MWD、1~2 mm 粒级水稳性团聚体含量均较高,而 SM20 处理和 SA 处理下以上指标含量则较低。

4. 结论

褐土不同方式秸秆还田 4 年后试验结果发现,单施化肥可显著增加<0.25 mm 粒级水稳性团聚体含量,同一处理间,秸秆配施化肥后还田对各粒级团聚体分布影响不显著;同一粒级条件下,秸秆还田显著增加 1~2 mm 粒级团聚体含量;对照和秸秆覆盖条件下 0.5~1 mm 团聚体含量较高;秸秆灰分处理 0.25~0.5 mm 团聚体含量最高。从>0.25 mm 粒级团聚体含量看,单施化肥处理土壤团聚体稳定性较差,从平均



注: CK(•); C(○); SM20(□); SR20(+); SA20(△); SC20(×)。

Figure 4. The RDA analysis between soil water stable aggregates and soil chemical properties

图 4. 土壤水稳性团聚体分布与土壤化学性质间的冗余分析图

重量直径数值看,秸秆灰分处理土壤水稳性团聚体稳定性最低;秸秆焚烧处理条件下,土壤 NH_4^+ -N、 resin-P 及有机质含量均较高,秸秆焚烧和秸秆灰分处理显著降低 $CaCO_3$ 含量。秸秆焚烧和秸秆灰分处理 对土壤团聚体结构和土壤养分含量的影响差异较显著,但因处理年限仅为 4 年,且针对秸秆焚烧和秸秆灰分还田的研究较少,仍需进一步研究。

基金项目

参考文献

- [1] Lynch, J.M. and Bragg, E. (1985) Microorganisms and Soil Aggregate Stability. *Advances in Soil Science*, **2**, 133-171. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5088-3_3
- [2] Dexter, A.R. (1988) Advances in Characterization of Soil Structure. Soil and Tillage Research, 11, 199-238. https://doi.org/10.1016/0167-1987(88)90002-5
- [3] Barral, M.T., Arias, M. and Guerif, J. (1998) Effects of Iron and Organic Matter on the Porosity and Structural Stability of Soil Aggregates. *Soil and Tillage Research*, **46**, 261-272. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00092-0
- [4] 朱冰冰,李鹏,李占斌,等. 子午岭林区土地退化/恢复过程中土壤水稳定性团聚体的动态变化[J]. 西北农林科技大学学报, 2008, 36(3): 124-134.
- [5] Bakken, L.R. (1990) Microbial Growth and Immobilization/Minerlization of N in the Rhizosphere. *Symbiosis*, **9**, 37-41.
- [6] West, T.O. and Post, W.M. (2002) Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation. *Soil Science Society of America Journal*, **66**, 1930-1946. https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1930
- [7] 毕明丽, 宇万太, 姜子绍, 等. 施肥和土壤管理对土壤微生物生物量碳、氮和群落结构的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 32-42.
- [8] 李书田, 金继运. 中国不同区域农田养分输入、输出与平衡[J]. 中国农业科学, 2011, 44(20): 4207-4229.
- [9] 冀保毅, 赵亚丽, 郭海斌, 等. 深耕和秸秆还田对不同质地土壤团聚体组成及稳定性的影响[J]. 河南农业科学, 2015, 44(3): 65-70.

- [10] 安婉丽,高灯州,潘婷.水稻秸秆还田对福州平原稻田土壤水稳性团聚体分布及稳定性影响[J].环境科学学报,2016,36(5):1833-1840.
- [11] 杨燕, 张学鹏, 宁堂原, 等. 套作及秸秆还田对西兰花连作田土壤团聚体分布的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(S2): 85-93.
- [12] 周虎, 吕贻忠, 杨志臣, 等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [13] Barreto, R.C., Masari, B.E., Maddock, J.E.L., *et al.* (2009) The Impact of Soil Management on Aggregation, Carbon Stabilization and Carbon Loss as CO₂ in the Surface Layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **132**, 243-251. https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.008
- [14] 鲁如坤, 土壤农业化学分析方法[M], 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 99-133,
- [15] Sharpley, A. (2000) Bioavailable Phosphorus in Soil. In: Pierzynski, G.M., Ed., Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals and Waters, North Carolina State University, Raleigh, 39-44.
- [16] 王笃超、吴景贵, 不同有机物料对连作大豆土壤养分及团聚体组成的影响[J]. 土壤学报, 2018, 55(4): 825-834.
- [17] 吕欣欣, 丁雪丽, 张彬, 等. 长期定位施肥和地膜覆盖对棕壤团聚体稳定性及其有机碳含量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(1): 1-10.
- [18] 隋雨含. 秸秆焚烧对土壤有机质及团聚体组成的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- [19] Zhang, H., Xu, W., Li, Y., et al. (2017) Changes of Soil Microbial Communities during Decomposition of Straw Residues under Different Land Uses. Journal of Arid Land, 9, 666-677. https://doi.org/10.1007/s40333-017-0027-1
- [20] 田国成, 王钰, 孙路, 等. 秸秆焚烧对土壤有机质和氮磷钾含量的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(2): 387-393.
- [21] 易姝, 赵展恒, 梁玉祥. 秸秆灰直接还田对土壤的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(4): 891-895.
- [22] 丁文峰, 丁登山. 黄土高原植被破坏前后土壤团粒结构分形特征[J]. 地理研究, 2002, 21(6): 700-706.
- [23] 宋洁, 李志洪, 赵小军, 等. 秸秆还田对土壤微团聚体特征的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(5): 116-120.
- [24] 王晓波, 车威, 纪荣婷, 等. 秸秆还田和保护性耕作对砂姜黑土有机质和氮素养分的影响[J]. 土壤, 2015, 47(3): 483-489.
- [25] 李晓欣, 胡春胜, 程一松. 不同施肥处理对作物产量及土壤中硝态氮累积的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 38-42.
- [26] 闫德智, 王德建. 长期施用化肥和秸秆对活性有机质组分的影响[J]. 土壤, 2008, 40(3): 407-411.
- [27] 隋雨含, 赵兰坡, 陈亮. 秸秆焚烧对土壤微团聚体及有机无机复合体组成的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2015, 37(4): 451-458.
- [28] 潘根兴, 曹建华, 何师意, 等. 土壤碳作为湿润亚热带表层岩溶作用的动力机制: 系统碳库及碳转移特征[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(3): 49-52.
- [29] 何龙. 秸秆添加方式对黑钙土有机碳积累和 CO₂ 释放的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林农业大学, 2014.
- [30] 李忠徽, 魏彬萌, 刘丹, 等. 黄绵土中碳酸钙含量和有机肥施用对土壤有机碳组分及 CO₂排放的影响[J]. 环境科 学学报, 2018, 38(6): 2498-2505.



知网检索的两种方式:

- 1. 打开知网首页: http://cnki.net/, 点击页面中"外文资源总库 CNKI SCHOLAR", 跳转至: http://scholar.cnki.net/new, 搜索框内直接输入文章标题,即可查询; 或点击"高级检索",下拉列表框选择: [ISSN],输入期刊 ISSN: 2329-7255,即可查询。

投稿请点击: http://www.hanspub.org/Submission.aspx

期刊邮箱: hjss@hanspub.org