

石温慧,温晓兰,李生辉,等. 绿肥还田对土壤团聚性、可蚀性及有机质的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(12):195–201.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2023.12.027

# 绿肥还田对土壤团聚性、可蚀性及有机质的影响

石温慧,温晓兰,李生辉,程福厚,赵曙良,王清涛,刘小粉

(河北工程大学园林与生态工程学院,河北邯郸 056038)

**摘要:**通过对比分析苕子、二月兰还田和空白对照 3 个处理水平下大田土壤的团聚体和有机质分布特征,探讨绿肥还田对土壤结构,特别是团聚体稳定性的影响。以华北地区玉米田为例,于 2021 年 5 月和 9 月分别采集苕子、二月兰还田和对照的大田土壤,测定各粒级土壤团聚体质量及有机质含量,计算其相应的土壤平均重量直径(MWD)、土壤几何平均直径(GMD)、分形维数( $D$ )和可蚀性因子( $K$ )。结果表明,苕子还田处理显著增加了 0.25~2.00 mm 粒级的大团聚体含量( $P<0.05$ ),而二月兰还田处理则显著增加了  $>2.00$  mm 的大团聚体含量。从指标的角度而言,5 月时二月兰处理的土壤稳定性与抗蚀性均显著高于对照(二月兰处理的  $D$  和  $K$  显著低于对照),而 9 月苕子处理的土壤反超前者,具有更好的稳定性和抗蚀性。进一步分析发现,土壤团聚体分布及其有机质含量具有相关性,且最强的相关性表现在  $>2.00$  mm 粒级的团聚体中。随着时间的推移,经绿肥还田处理后的土壤大团聚体和微团聚体间发生转化,且还田处理 0.25~2.00 mm 团聚体含量增加主要由 0.05~ $<0.25$  mm 团聚体含量减少引起。因此,绿肥还田能提高土壤团聚体稳定性和抗蚀性,对土壤结构的改善具有良好效果。

**关键词:**土壤团聚体;团聚体有机质;绿肥;苕子;二月兰

**中图分类号:**S142;S152.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2023)12–0195–07

土壤团聚体是组成土壤结构的基础单元<sup>[1–2]</sup>,其粒级大小、质量分布和排列方式对土壤孔隙、密度等物理性质起着决定作用,进而影响土壤保水保肥能力及抗侵蚀性<sup>[3–5]</sup>。土壤团聚体分布情况与其分组方法密切相关,最常用的为湿筛法,以 0.25 mm

为界将水稳性团聚体分为大团聚体和微团聚体<sup>[6]</sup>。土壤团聚体形成与稳定性与有机质胶结作用密切相关,随着粒径减小,团聚体所含有机质活性下降,因而大团聚体中有机质是决定土壤肥力的重要因素<sup>[7–11]</sup>。因此,研究土壤团聚体与有机质分布特征及其影响因素,对于了解土壤结构和稳定性及土壤肥力具有重要意义。

化肥具有提高农作物产量的能力,但在农耕实践中,长期大量施用化肥会导致土壤酸化和板结,导致土壤肥力下降;化肥中所含的重金属等有害物质会对土壤造成污染<sup>[12]</sup>。绿肥作为清洁肥源,翻压还田后不仅能部分替代化肥的功效,保证产量,还能稳定土壤结构,提高土壤总有机碳含量,促进微

收稿日期:2022–10–10

基金项目:河北省重点研发计划(编号:22327501D);河北省青年拔尖人才支持计划(第三批);河北省梨产业创新团队土壤耕作与肥水调控岗(编号:HBCT2021210203)。

作者简介:石温慧(1997—),女,山西晋中人,硕士研究生,主要从事农艺与种业方面的研究。E-mail:461721955@qq.com。

通信作者:刘小粉,博士,教授,主要从事绿肥资源利用方面的研究工作。E-mail:liuxiaofen@hebeu.edu.cn。

[23] Wiesmeier M, Hübner R, Spörlein P, et al. Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation [J]. *Global Change Biology*, 2014, 20(2):653–665.

[24] Veres Z, Kotroczó Z, Fekete I, et al. Soil extracellular enzyme activities are sensitive indicators of detrital inputs and carbon availability [J]. *Applied Soil Ecology*, 2015, 92:18–23.

[25] 吴海梅,周彦莉,郑浩飞,等. 秸秆带状覆盖对土壤有机碳及其活性组分的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2022, 40(1):61–69.

[26] 李蓉蓉,王 俊,毛海兰,等. 秸秆覆盖对冬小麦农田土壤有机

碳及其组分的影响[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(3):187–192.

[27] Wei H Y, Li H L, Cheng J Q, et al. Effects of slow/controlled release fertilizer types and their application regime on yield in rice with different types of panicle [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43(5):730–740.

[28] Qiao Y F, Miao S J, Li N, et al. Crop species affect soil organic carbon turnover in soil profile and among aggregate sizes in a Mollisol as estimated from natural  $^{13}\text{C}$  abundance [J]. *Plant and Soil*, 2015, 392(1):163–174.





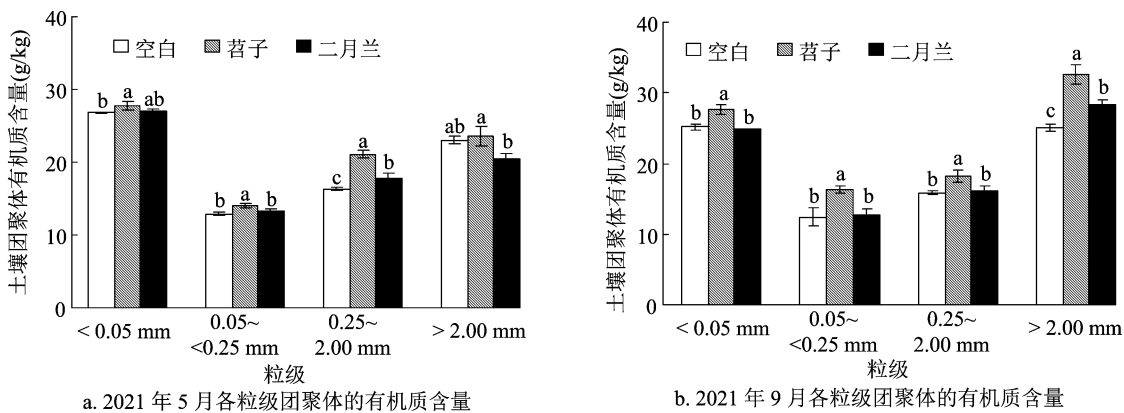


图2 不同绿肥处理的大田土壤水稳性团聚体有机质含量

2.3 不同处理对土壤水稳性团聚体稳定性和可蚀性的影响

由图 3 可以看出, MWD 和 GMD 在不同采样时间的表现有差异, 5 月份表现为二月兰处理 > 苕子处理、对照, 9 月份表现为苕子处理 > 二月兰处理 > 对照。由图 4 可知, 2021 年 5 月时,  $D$  和  $K$  均表现

为苕子处理 > 对照 > 二月兰处理。2021 年 9 月时,  $D$  和  $K$  均表现为对照 > 二月兰处理 > 苕子处理。由此可见, 绿肥还田对大田土壤水稳性团聚体稳定性和抗侵蚀能力有提升作用, 且随着时间的推移, 苕子处理的效果优于二月兰处理。

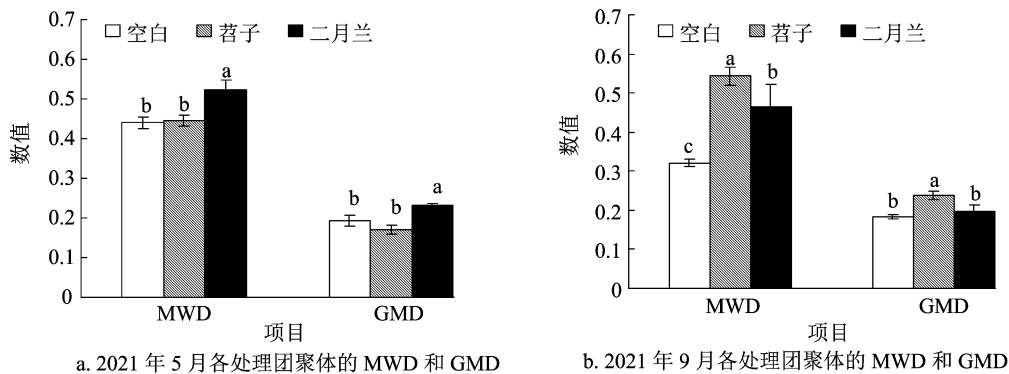


图3 不同绿肥处理的大田土壤水稳性团聚体的平均质量直径和几何平均直径

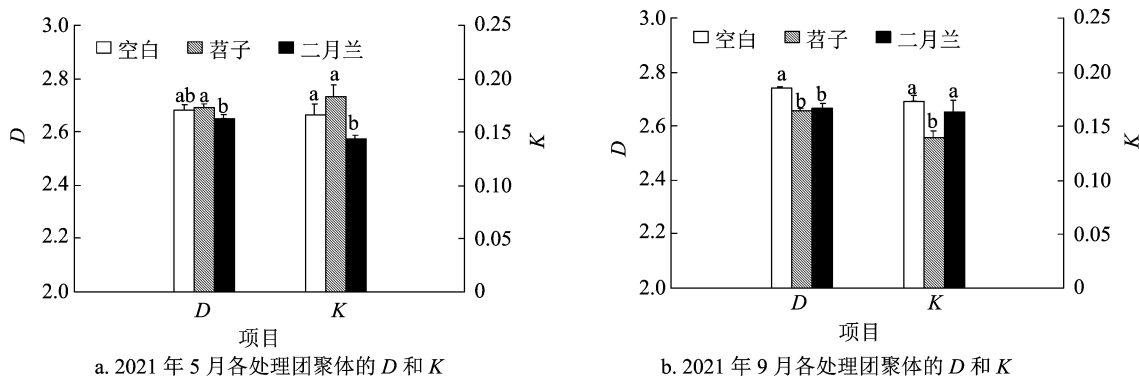


图4 不同绿肥处理下土壤团聚体分形维数和可蚀性因子

2.4 土壤团聚性、可蚀性及有机质含量的相关性

对土壤各粒级团聚体含量间的相关性分析结果 (表 1) 表明, <0.05 mm 的团聚体含量与 >2.00 mm 的团聚体含量呈极显著负相关关系 ( $P < 0.01$ ),

0.05 ~ <0.25 mm 粒级团聚体含量与 0.25 ~ 2.00 mm 粒级团聚体含量呈显著负相关关系, 体现出大团聚体与微团聚体间的相互转化关系。此外, 0.05 ~ <0.25 mm 粒级的团聚体含量与 >2.00 mm



<0.25 mm 和 >2.00 mm 粒级团聚体含量减少引起。相关性分析结果也证明,0.25 ~ 2.00 mm 粒级团聚体含量与 0.05 ~ <0.25 mm 粒级团聚体含量呈显著负相关(-0.563\*),但与 >2.00 mm 粒级团聚体含量的相关性不显著(-0.439),这可能与 >2.00 mm 粒级团聚体占比最少有关。因此,本试验绿肥还田处理 0.25 ~ 2.00 mm 粒级团聚体增加主要由 0.05 ~ <0.25 mm 粒级团聚体含量减少引起。

作为土壤重要的养分来源,绿肥还田能够显著提高土壤中有有机碳的含量,改善养分比例,提高作物产量<sup>[25]</sup>。本研究中,与对照相比,绿肥还田能显著提高土壤中团聚体有机质含量,其中苕子处理的效果最为显著,在多个粒级的团聚体组别中有机质含量均显著高于对照组(2021 年 5 月 >2.00 mm 粒级团聚体有机质含量除外)。相比而言,二月兰对团聚体中有机质含量的提升作用较弱,仅表现在 >2.00 mm 粒级的团聚体组别中,这可能是其腐解速率较慢所致,体现出其有别于苕子的作用模式。由图 2-a 和图 2-b 对比发现,随着时间推移(2021 年 9 月),苕子处理所有粒径的团聚体有机质含量均较对照显著增加,而二月兰处理仅 >2.00 mm 粒级团聚体有机质含量显著增加。相关性分析结果进一步表明,0.25 ~ 2.00 mm 粒级团聚体含量与 0.05 ~ <0.25 mm 和 >2.00 mm 粒级团聚体有机质含量呈极显著正相关(0.742\*\*、0.867\*\*),但与 <0.05 mm 粒级团聚体有机质含量相关性不显著(0.224)。随着 0.25 ~ 2.00 mm 粒级团聚体含量增加,0.05 ~ <0.25 mm 和 >2.00 mm 粒级团聚体内有机质转移到 0.25 ~ 2.00 mm 粒级团聚体内。因此,该试验绿肥还田处理引起的 0.25 ~ 2.00 mm 粒级团聚体含量增加与其他粒级团聚体有机质向其转移有关。这在一定程度上表明,土壤大团聚体中的有机质有利于 0.25 ~ 2.00 mm 粒级团聚体的形成,这个粒级团聚体的存在形态是较为稳定的。过大的颗粒将会裂解,而过小的颗粒在有机质的胶结作用下聚合成更大的团聚体。

在团聚体的相互转化关系中,较大颗粒团聚体由较小层次的团聚体和有机质胶结而成,但颗粒越大,破解团聚体所需的能量越小,其稳定性也会有所下降<sup>[6]</sup>。田慎重等在秸秆还田对土壤水稳性团聚体稳定性的研究中发现,土壤团聚体质量分布与土壤有机碳含量存在相关关系,而这种关系主要体现在表层(0 ~ 10 cm)较大团聚体中<sup>[32]</sup>。本试验结

论支持了上述研究结果,并进一步在团聚体分级层次下发现,>2.00 mm 粒级团聚体有机质含量与多个粒级的团聚体质量分布存在相关关系。有研究表明,小团聚体中的有机碳比大团聚体中的老化,因此可以推断,绿肥还田影响了大团聚体中的有机质,此后各粒级团聚体在新鲜有机质的作用下发生相互转化,微团聚体转化为大团聚体,同时部分大团聚体发生崩解,最终达到稳态,实现土壤结构的改善<sup>[33]</sup>。

在计算得到的各项指标中,MWD 和 GMD 是土壤团聚体组成的直接刻画, $D$  反映了土壤团聚体含量对土壤结构与稳定性的影响趋势, $K$  则是土壤抗侵蚀力的综合体现<sup>[25]</sup>。一般情况下,大团聚体(>0.25 mm)含量多意味着土壤具有较好的结构,这通常也体现在较大的 MWD 和 GMD、较小的  $D$  和  $K$  上,表明土壤具有良好的团聚体稳定性和抵抗外力侵蚀的能力<sup>[26,29]</sup>。说明微团聚体有机质含量的增加对 MWD 的影响大,而大团聚体有机质含量的增加则主要影响 GMD 的值。由于有机质含量并非影响团聚体组成的唯一因素,其与团聚体稳定性和可蚀性指标的相关性总体上也较弱。

土壤团聚体和有机质的分布是土壤质量的体现。本研究中,0.05 ~ <0.25 mm 和 0.25 ~ 2.00 mm 的团聚体含量高于其余 2 组,呈现出中间高两边低的分布规律。Elliott 指出,与蒸汽浸润土壤促进团聚体形成不同,风干的土壤会松解,使得湿筛法选出的微团聚体含量高于大团聚体;同时,与自然土壤相比,大田土壤的松解程度更高<sup>[34]</sup>。本研究土壤粒径分布符合风干大田土壤的分布规律,但 <0.05 mm 的团聚体相对较少,可能是试验地点土壤受人为干扰的程度小所致。一般而言,作为团聚体重要的胶结物质,大团聚体中有机质的含量要高于微团聚体。由于土壤中大团聚体的占比通常低于微团聚体,大多数有机质仍分布于微团聚体中<sup>[6]</sup>。本研究的结果印证了上述规律,各组中 <0.25 mm 粒级的团聚体占比均超过了 50%,尽管其有机质含量低于 >0.25 mm 粒级的大团聚体,但是有机质总量(加权求和)大于后者。

综上,本研究可得出以下结论:(1)在土壤团聚体组成方面,2 种绿肥中,二月兰更利于土壤 >2.00 mm 粒径团聚体增加,而苕子更有助于提高 0.25 ~ 2.00 mm 粒径的团聚体含量。(2)在土壤团聚体结构的改良上,2 种绿肥均能提高土壤团聚体的稳定

性和抗蚀性,但其促进不同粒径团聚体形成的速度不同,其中二月兰还田能够较快表现出改良效果,而苕子还田则体现出长期有效的改良优势。综上,绿肥还田对改善土壤结构有积极作用,但在作用机制和途径上存在差异性,表现在改良的时效性上。其对土壤质量的影响机制仍需长期试验进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Hartley W, Riby P, Waterson J. Effects of three different biochars on aggregate stability, organic carbon mobility and micronutrient bioavailability[J]. Journal of Environmental Management, 2016, 181:770–778.
- [2] 田云国. 旅游干扰对太原万柏林生态园土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J]. 土壤通报, 2021, 52(6):1316–1322.
- [3] Lal R, Shukla M. Principles of soil physics[M]. New York: Marcel Dekker, Inc., 2004.
- [4] 周芸, 李永梅, 范茂攀, 等. 有机肥等氮替代化肥对红壤团聚体及玉米产量和品质的影响[J]. 作物杂志, 2019(4):125–132.
- [5] 刘雪强, 南丽丽, 郭全恩, 等. 黄土高原半干旱区种植不同绿肥作物对土壤理化性质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(1):145–152.
- [6] 窦森, 李凯, 关松. 土壤团聚体中有机质研究进展[J]. 土壤学报, 2011, 48(2):412–418.
- [7] 魏亚伟, 苏以荣, 陈香碧, 等. 人为干扰对喀斯特土壤团聚体及其有机碳稳定性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4):971–978.
- [8] 高强, 宓文海, 夏斯琦, 等. 长期不同施肥措施下黄泥田水稻土壤团聚体组成、稳定性及养分分布特征[J]. 河南农业科学, 2021, 50(6):70–81.
- [9] 李彦, 李廷亮, 焦欢, 等. 保护性耕作对土壤团聚体及微生物特性影响研究概况[J]. 山西农业科学, 2018, 46(3):466–470.
- [10] 王兴, 钟泽坤, 张欣怡, 等. 长期撂荒恢复土壤团聚体组成与有机碳分布关系[J]. 环境科学, 2020, 41(5):2416–2424.
- [11] 杨鸿, 李成学, 杨苍玲, 等. 施用有机肥对土壤团聚体的影响研究[J]. 西部大开发(土地开发工程研究), 2017, 2(11):28–32.
- [12] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境, 2004, 13(4):656–660.
- [13] 姜灿灿, 何园球, 刘晓利, 等. 长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(4):715–722.
- [14] 刘小粉, 王清涛, 白双宇, 等. 绿肥根茬还田和化肥用量对土壤团聚性及碳氮分布的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3):220–226.
- [15] 刘小粉, 贺小思, 易柏宁, 等. 有机肥绿肥配施对水稻土有机碳组分和水稻产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(5):147–151.
- [16] 刘小粉. 有机种植对土壤养分含量及物理特性的影响[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(12):87–89.
- [17] 韩云飞, 高日平, 任永峰, 等. 播期对毛叶苕子生长发育及产量的影响[J]. 作物杂志, 2020(6):151–157.
- [18] 梁飞雪, 王文颖, 付子跃, 等. 二月兰个体发育早期特性研究[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(10):49–51.
- [19] 周道宏. 二月兰的应用价值及种植集约管理技术[J]. 现代农业科技, 2018(24):74–75.
- [20] 赵秋, 高贤彪, 宁晓光, 等. 冬绿肥二月兰间作及翻压对北方桃园生长环境及果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013(1):93–96.
- [21] 刘佳, 张杰, 徐昌旭, 等. 二月兰不同翻压量对土壤肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(1):123–127.
- [22] Kemper W D, Rosenau R C. Aggregate stability and size distribution [M]// Klute A. Methods of soil analysis. Wisconsin: SSSA Book Series, 1986.
- [23] Mebius L J. A rapid method for the determination of organic carbon in soil[J]. Analytica Chimica Acta, 1960, 22:120–124.
- [24] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报, 1993, 38(20):1896–1899.
- [25] 陈奇, 刘育红, 魏卫东. 退化紫花针茅草原土壤团聚体稳定性分析[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(6):35–43.
- [26] 王勇, 李富程, 汪璇, 等. 聚丙烯酰胺对紫色土坡地耕作位移及土壤结构的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(4):51–56.
- [27] 彭新华, 张斌, 赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. 土壤学报, 2004, 41(4):618–623.
- [28] 徐嘉晖, 孙颖, 高雷, 等. 土壤有机碳稳定性影响因素的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(2):222–230.
- [29] 王清奎, 汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报, 2005, 36(3):415–421.
- [30] 冯颖, 温晓兰, 石温慧, 等. 紫云英配施化肥对土壤腐殖质各组分的影响[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(8):95–97.
- [31] 王丹英, 彭建, 徐春梅, 等. 油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[J]. 中国水稻科学, 2012, 26(1):85–91.
- [32] 田慎重, 王瑜, 李娜, 等. 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(22):7116–7124.
- [33] 李鉴霖, 江长胜, 郝庆菊. 土地利用方式对缙云山土壤团聚体稳定性及其有机碳的影响[J]. 环境科学, 2014, 35(12):4695–4704.
- [34] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1986, 50(3):627–633.