

王翠丽,王军强,陈亮,等.不同耕作方式对绿洲区农田土壤团聚体中微生物生物量碳、氮含量的影响[J].江苏农业科学,2022,50(12):246-251.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.12.037

不同耕作方式对绿洲区农田土壤团聚体中微生物生物量碳、氮含量的影响

王翠丽^{1,2}, 王军强³, 陈亮^{1,2}, 栾倩倩^{1,2}, 李彦荣^{1,2}, 赵旭^{1,2}

(1. 兰州大学西部生态安全省部共建协同创新中心,甘肃兰州 730000; 2. 甘肃省农业工程技术研究院,甘肃武威 733006;

3. 西华师范大学,四川南充 637000)

摘要:为了更好地研究不同耕作方式下绿洲区农田土壤团聚体中有机碳、微生物量碳、微生物量氮含量之间的关系,选择4种耕作方式(免耕、少耕、深松、秋翻),对不同土层(0~20、20~40 cm)的土壤进行样品采集和分析,研究各粒级(粒径>2.00 mm、>1.00~2.00 mm、0.25~1.00 mm、<0.25 mm)土壤团聚体中有机碳、微生物量碳、微生物量氮含量的变化特征。结果表明,在4种耕作方式下,在0~20 cm土层4种粒级的土壤团聚体中,粒径>2.00 mm的土壤团聚体的微生物量碳、微生物量氮含量最高,免耕、少耕、秋翻处理的土壤团聚体有机碳含量最高。对同一粒级的土壤团聚体而言,0~20 cm土层有机碳、微生物量碳、微生物量氮含量高于20~40 cm土层。随团聚体粒级变小,土壤微生物量碳、微生物量氮含量逐渐降低;在秋翻方式下,土壤有机碳、微生物量碳、微生物量氮含量均最高,说明对该地区土壤翻动处理,可改善土壤微环境、增强土壤肥力,可作为改善绿洲区农田土壤的合理措施。

关键词:绿洲农田;耕作方式;团聚体;有机碳;微生物量碳;微生物量氮

中图分类号: S151.9⁺3; S153 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)12-0246-06

土壤团聚体是在土壤形成过程中,由土壤矿质颗粒吸收钙的腐殖质凝结而成的,是土壤结构的基本单元^[1]。土壤团聚体中各种微生物的活性受到耕作方

式、土壤类型及气候条件的影响,使不同粒级团聚体中碳、氮含量发生变化^[2]。有研究发现,微生物的快速生长对微团聚体(粒径<0.25 mm)中微生物群落结构的贡献高于大团聚体(粒径>2.00 mm)^[3]。单位体积土壤中的微生物量随着团聚体粒级的减小而增加,导致大团粒来自植物的外源有机质占据优势,而微小粒级团聚体中来自微生物代谢的有机物占优势^[4]。团聚体粒级大小不同,其微生物数量和种群也不相同,有研究发现,在0~30 cm土层,有机质含量在粒径为0.5~2 mm的团聚体中低于粒径≤0.005 mm的团聚体中^[5];还有研究发现,土壤微生物量碳、氮含量在粒径>2 mm团聚体中的含量

收稿日期:2021-08-19

基金项目:兰州大学中央高校基本科研业务费专项(编号:lzujbky-2021-kb12);甘肃省级引导科技创新发展专项(编号:2019ZX-06);国家自然科学基金(编号:41867013、31560170)。

作者简介:王翠丽(1989—),女,甘肃会宁人,硕士,助理研究员,从事设施蔬菜栽培生理与生长调控研究。E-mail: wangcl116@163.com。

通信作者:赵旭,副研究员,博士,从事农田生态和微生物生理生化研究。E-mail: zhaoxu512@163.com。

[28] 成林,李彤霄,刘荣花.主要生育期气候变化对河南省冬小麦生长及产量的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(6):931-940.

[29] 徐建文,梅旭荣,居辉,等.黄淮海地区冬小麦关键生育期不同灌溉水平对产量影响的模拟[J].作物学报,2014,40(8):1485-1492.

[30] Nie H J, Qin T L, Li C Z, et al. Trend analysis of effective precipitation in different growth stages of winter wheat in Huaihe River Plain[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, 138(3/4):2043-2056.

[31] 栾青,郭建平,马雅丽,等.基于线性生长假设的作物积温模型稳定性比较[J].中国农业气象,2020,41(11):695-706.

[32] 景毅刚,范建忠,高茂盛.气候变暖对陕西冬小麦生育期的影响[J].麦类作物学报,2013,33(2):389-396.

[33] 李娜,张峰举,许兴,等.增温对宁夏北部春小麦叶片光合作用的影响[J].生态学报,2019,39(24):9101-9110.

[34] 吕丽华,梁双波,张丽华,等.不同小麦品种产量对冬前积温变化的响应[J].作物学报,2016,42(1):149-156.

[35] 周宝元,葛均筑,孙雪芳,等.黄淮海麦玉两熟区周年光温资源优化配置研究进展[J].作物学报,2021,47(10):1843-1853.

[36] 李文旭,吴政卿,雷振生,等.河南省主要气象因子变化及其对主要粮食作物单产的影响特征[J].作物杂志,2021(1):124-134.

[37] 南学军,胡宏远,马国飞,等.宁夏引黄灌区头水灌溉对春小麦生长和产量的影响[J].江苏农业科学,2021,49(13):64-70.

相对高于粒径 $<0.25\text{ mm}$ 的团聚体^[6]。

土壤团聚体与土壤有机碳、土壤微生物量碳、微生物量氮含量三者之间有着密切关系,土壤微生物连接作物根系与土壤微生物量碳、微生物量氮的循环;土壤中碳素、氮素养分的转化离不开土壤微生物量碳、氮,土壤微生物量碳可以反映土壤微生物活性和土壤肥料状况^[7]。因此,研究团聚体中土壤微生物量碳、微生物量氮含量的变化有助于了解土壤肥力的变化,可为改良土壤养分提供一定的理论和技术指导。

本研究以民勤绿洲农田的 4 种不同耕作方式为研究对象,对不同耕作方式、不同土壤深度下土壤团聚体粒级、土壤团聚体有机碳、微生物量碳、微生物量氮、全氮含量进行比较,并明确不同耕作方式、不同深度下这些指标的分布特征及它们之间的关系,以期为提高该地区农田高效的耕作方式提供理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于甘肃省武威市民勤县苏武乡泉水村($103^{\circ}07'16''\text{ E}$, $33^{\circ}37'10''\text{ N}$),海拔为 $1\,298\sim1\,936\text{ m}$,该地区气候类型为温带干旱荒漠气候,冬季寒冷,夏季炎热,昼夜温差可达 $25.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。气象站的数据显示,该地年均温为 $7.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低气温仅为 $-30.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,高温温度为 $40.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均无霜期为 162 d ,光照充足,全年日照时数为 $3\,073.5\text{ h}$,平均日照时数为 $2\,779.40\text{ h}$ 。该地区降水主要在 7—9 月,年均降水量约 113.2 mm ,蒸发量高达 $2\,644\text{ mm}$ 。

1.2 试验设计

试验开始于 2015 年 10 月,试验地种植玉米,共设置 4 种耕作方式:(1)免耕(T_0),土地不耕翻,地膜一直到试验结束才更换^[8];(2)少耕(T_m),土壤从第 1 年收获后到第 2 年播种前不进行任何翻动,在第 2 年播种前 1 周左右旋耕整地,深翻土壤 $7.5\sim10.0\text{ cm}$;(3)深松(T_s),秋收后深翻 30 cm ,春季再翻 1 次;(4)秋翻(T_f),每年秋收后耕翻土层约为 20 cm ,春季深翻土壤 $7.5\sim10.0\text{ cm}$ 。每个处理设置 3 个重复,随机区组排列,各小区面积为 24.75 hm^2 。

1.3 取样及指标测定

2020 年 6 月用土钻取土,每个试验小区随机选取 3 个点,分别采集 $0\sim20$ 、 $20\sim40\text{ cm}$ 2 个土层的土样,混合成 1 个样后现场过筛(孔径为 5 mm),用

手将大块掰开,过完筛后剔除土壤中可见的植物根系和杂物。将样品一分为三,冷藏于冰盒中,带回实验室后储存到 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中。

参照 Bach 等的方法^[9],采用干筛法将土壤团聚体按不同颗粒进行分级,将置于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱的土样进行筛分处理,筛孔直径分别为 2 、 1 、 0.25 mm ,筛分方法为垂直上下振荡(5 cm 高度),振荡频率 1 次/s ,振荡时长 1 min ,筛分出粒径 >2.00 、 $>1.00\sim2.00$ 、 $0.25\sim1.00$ 、 $<0.25\text{ mm}$ 的土壤团聚体,称质量,然后进行各项指标的测定。

1.3.1 土壤团聚体有机碳含量的测定 土壤团聚体有机碳含量的测定采用重铬酸钾—硫酸消化法。

1.3.2 土壤团聚体微生物量碳、微生物量氮含量的测定 将用干筛法分离的不同粒径的团聚体、原状土的湿度调节至田间持水量的 50% ,在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预培养 7 d 后,用三氯甲烷熏蒸— K_2SO_4 浸提,称取 3 份相当于风干土壤质量 20 g 的新鲜土壤于小烧杯中,将土样与盛有 50 mL 无乙醇三氯甲烷的烧杯共同放入真空干燥箱中,抽真空至三氯甲烷持续沸腾后,关紧阀门,于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养 24 h 后取出三氯甲烷,再次反复抽真空至完全去除土壤中残余的三氯甲烷,加入 $50\text{ mL }0.5\text{ mol/L K}_2\text{SO}_4$ 溶液,于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 充分振荡 30 min 。另外称取 3 份土壤,直接加入 $50\text{ mL K}_2\text{SO}_4$ 溶液进行浸提测定。

微生物量碳含量(MBC)的计算公式: $MBC = 2.64Ec^{[10]}$;

微生物量氮含量(MBN)的计算公式: $MBN = 0.54Ec$;

土壤微生物熵 = 有机碳/微生物碳。
式中:2.64、0.54 分别为用三氯甲烷熏蒸杀死的微生物体的碳、氮被硫酸钾浸提出的比例; Ec 为熏蒸、未熏蒸浸提液中碳质量分数的差值。

1.3.4 土壤团聚体全氮测定 采用全自动凯氏定氮法(丹麦 FOSS Analytical A/S 公司)。

1.4 数据处理

用 Excel 2010 进行数据处理及作图,用 SPSS 19.0 软件的 Duncan's 法进行方差分析与差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 耕作方式对土壤团聚体有机碳的影响

土壤中有机碳含量反映土壤有机质平衡和矿化速率的变化。在 $0\sim20\text{ cm}$ 土层,免耕、少耕、秋翻

3 种耕作方式的土壤各粒级团聚体中有机碳含量的变化规律基本一致,均表现为 >2.00 mm 粒径团聚体有机碳含量最高,分别为 11.61、14.83、18.96 g/kg; <0.25 mm 粒级团聚体含量最低,分别为 7.37、11.77、12.08 g/kg。在不同耕作方式下,秋翻时粒径 >2.00 、 $>1.00 \sim 2.00$ 、 $0.25 \sim 1.00$ 、 <0.25 mm 的 4 种团聚体的有机碳含量高于其他 3 种处理。对于有机碳含量最高的 >2.00 mm 粒径,

有机碳含量排序为秋翻 $>$ 少耕 $>$ 免耕 $>$ 深松;对于有机碳含量最低的 <0.25 mm 粒径,有机碳含量排序为秋翻 $>$ 少耕 $>$ 免耕 $>$ 深松。在 $0 \sim 40$ cm 土层,少耕方式下 >2.00 、 $>1.00 \sim 2.00$ mm 这 2 个粒级的团聚体有机碳含量最高,分别为 11.99、12.13 g/kg,该层土壤有机碳含量低于 $0 \sim 20$ cm 土层, >2.00 mm 粒径的土壤团聚体中有机碳含量最高(图 1)。

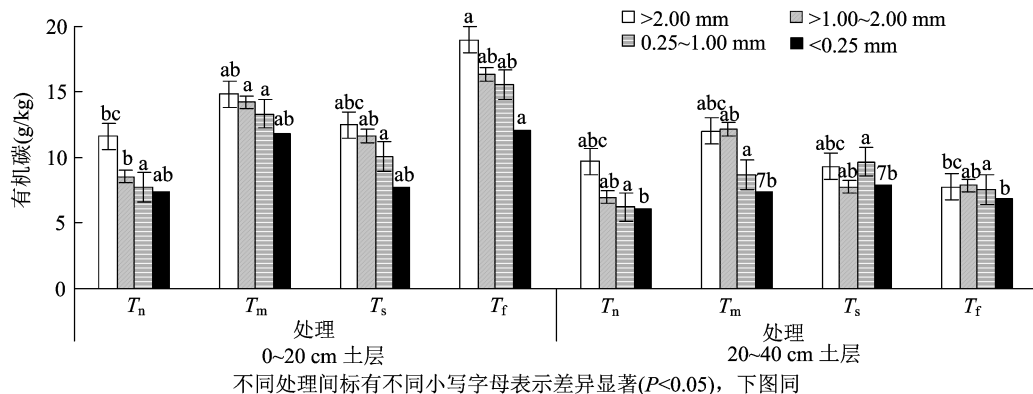


图1 土壤团聚体中的有机碳含量

2.2 耕作方式对土壤团聚体中微生物量碳的影响

图 2 显示,在 $0 \sim 40$ cm 土层,免耕、少耕、深松、秋翻 4 种耕作方式的土壤各粒级团聚体中微生物量碳含量的变化规律相同。在不同耕作方式处理下,各粒级团聚体的微生物量碳含量变化不同。在 $0 \sim 20$ cm 土层,秋翻微生物量碳含量最高,为

1 401.52 mg/kg,少耕微生物含量最低,为 1 146.30 mg/kg。同一粒级不同耕作方式间的土壤团聚体微生物量碳含量也不同,其中粒径 >2.00 mm 团聚体的微生物量碳含量最高,粒径 <0.25 mm 团聚体的微生物量碳含量最低。随着土层深度加深,各粒级团聚体中有微生物量碳含量降低。

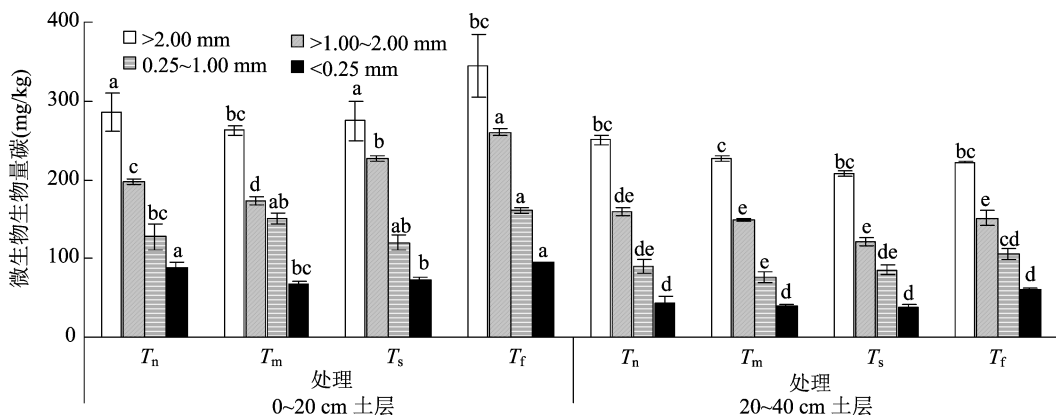


图2 土壤团聚体中微生物量碳含量

2.3 耕作方式对土壤团聚体中微生物量氮含量的影响

由图 3 可知,土壤团聚体中的微生物量氮含量与微生物量碳含量的变化趋势相似,呈现为随着团聚体粒级变小,微生物量氮含量降低。随着土层深度增加,微生物量氮含量降低。在不同耕作方式下, $0 \sim 20$ cm 土层土壤中各粒级团聚体的微生物量

氮含量排序为秋翻 $>$ 免耕 $>$ 少耕 $>$ 深松,其中秋翻 >2.00 mm 粒径团聚体的微生物量氮含量最高,为 15.33 mg/kg。在 $0 \sim 40$ cm 土层,免耕处理各粒级团聚体微生物量氮含量最高,分别为 10.00、7.25、6.99、5.27 mg/kg。在同一粒级的不同耕作方式下,粒径 >2.00 mm 团聚体的微生物量氮含量最高,粒径 <0.25 mm 团聚体的微生物量氮含量最低。

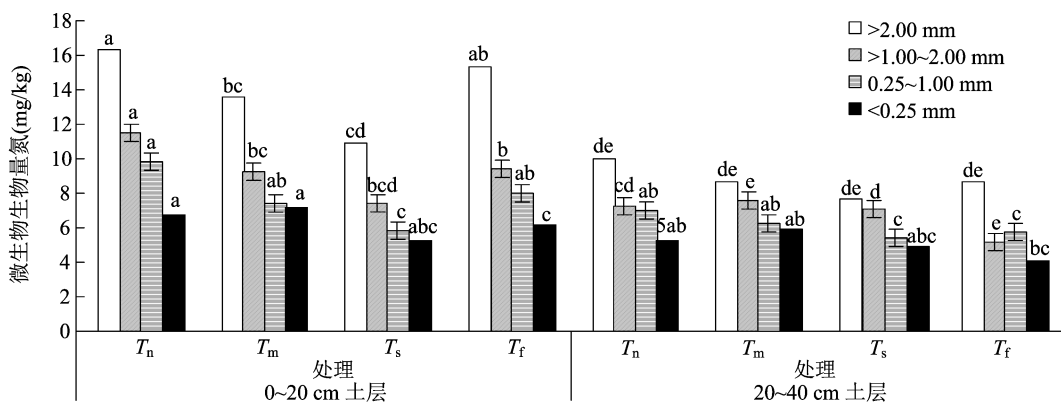


图3 土壤团聚体中的微生物量氮含量

2.4 不同耕作方式下土壤团聚体中的微生物量 C/N 值

由图 4 可知,在不同耕作方式处理下,免耕、深松处理的团聚体 C/N 值变化趋势相似,各粒级团聚体 C/N 值由高到低为 > 2.00、> 1.00 ~ 2.00、0.25 ~ 1.00 mm、<0.25 mm,秋翻处理的 C/N 值最

高,免耕处理的 C/N 值最低。对于同一团聚体粒级,不同耕作方式处理的 C/N 值不同,其中少耕处理的 >1.00 ~ 2.00 mm 粒级团聚体的 C/N 值最高,为 37.43%;深松处理 <0.25 mm 粒级团聚体的 C/N 值最高,为 7.05%。

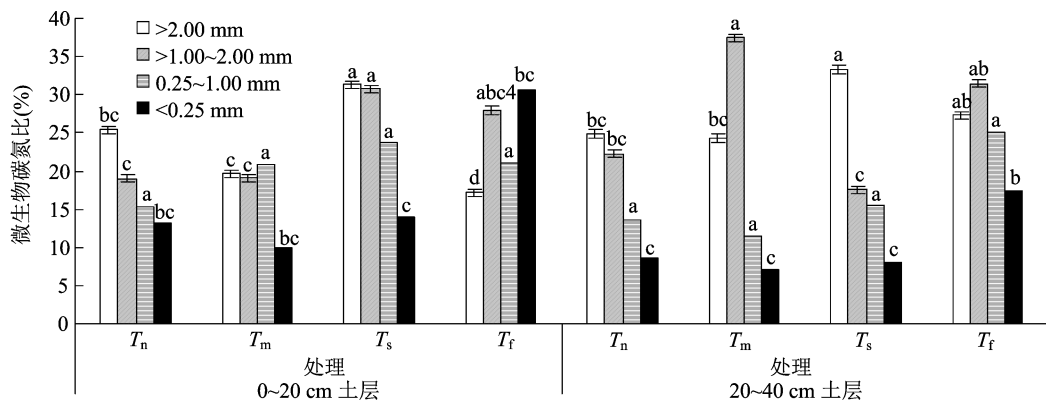


图4 土壤团聚体中微生物量 C/N 值

2.5 土壤团聚体中微生物量氮占全氮的比例

由图 5 可知,在不同耕作方式下,各粒级土壤团聚体的生物量氮占全氮的比例为 13.49% ~ 85.59%。在表层(0 ~ 20 cm)土壤,少耕处理的团聚体微生物量氮占全氮的比例最高,免耕处理最

低。在同一耕作方式下,0 ~ 20 cm 土层的少耕、深松、秋翻团聚体微生物量氮占全氮的比例排序为 >2.00、>1.00 ~ 2.00、0.25 ~ 1.00、<0.25 mm。在 20 ~ 40 cm 土层,免耕、深松和秋翻各级团聚体中氮含量占总氮含量比例的变化规律相同。

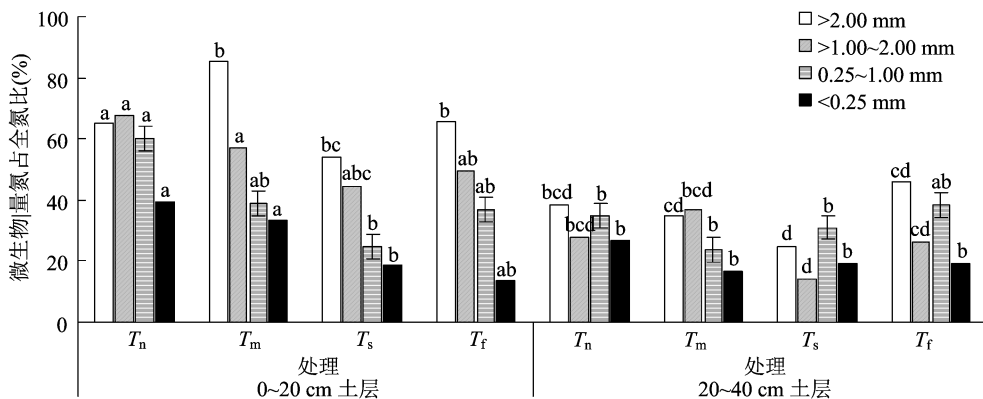


图5 土壤团聚体中微生物量氮占全氮的比例

2.6 耕作方式对土壤团聚体中微生物熵的分布的影响

由表 1 可知,底层(20 ~ 40 cm)土壤的微生物熵高于表层(0 ~ 20 cm)土壤,对于深松处理,>2.00 mm 粒径团聚体的微生物熵最大(0.33%、

0.64%);在 0 ~ 20 cm 土层,少耕处理中粒径 <0.25 mm 团聚体的微生物熵最小,为 0.09%;在 20 ~ 40 cm 土层,其他处理的微生物熵在 0.2% ~ 0.6% 之间。

表 1 土壤团聚体中微生物熵的分布

土层深度 (cm)	处理	微生物熵(%)			
		>2.00 mm	>1.00 ~ 2.00 mm	0.25 ~ 1.00 mm	<0.25 mm
0 ~ 20	T_n	0.13 ± 0.03b	0.09 ± 0.01b	0.09 ± 0.04b	0.16 ± 0.05b
	T_m	0.23 ± 0.05ab	0.13 ± 0.06ab	0.14 ± 0.02ab	0.15 ± 0.01b
	T_s	0.28 ± 0.04ab	0.22 ± 0.07a	0.26 ± 0.02a	0.32 ± 0.06a
	T_f	0.35 ± 0.05a	0.23 ± 0.11a	0.26 ± 0.08a	0.33 ± 0.04a
20 ~ 40	T_n	0.35 ± 0.03a	0.25 ± 0.02a	0.28 ± 0.09a	0.17 ± 0.09ab
	T_m	0.21 ± 0.09ab	0.14 ± 0.02ab	0.18 ± 0.04ab	0.21 ± 0.06ab
	T_s	0.25 ± 0.04ab	0.20 ± 0.02ab	0.24 ± 0.07b	0.36 ± 0.02a
	T_f	0.39 ± 0.05a	0.25 ± 0.07a	0.27 ± 0.08a	0.37 ± 0.05a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

3 讨论

土壤团聚体反映土壤有机碳的稳定性^[11],粒径不同,土壤团聚体所表现的孔隙度大小不同,而孔隙度特征可以有效积累土壤内部有机碳含量^[12]。本研究表明,4 种耕作方式影响土壤各粒径团聚体中的有机碳含量,土壤团聚体有机碳含量均以 >2.00 mm 粒径的团聚体较高,<0.25 mm 粒径的土壤团聚体含量均最低,这与高明等的研究结果^[13]一致。随着土壤深度加深,团聚体粒级越小,有机碳含量越低。不同耕作方式的土壤团聚体中的有机碳含量差异很大,这与试验地种植的玉米根系分布及根系分泌物有关,与罗有进等的研究结果^[14]一致。在免耕处理下,团聚体中有机碳含量明显降低;深松处理土壤团聚体有机碳含量明显升高,且大团聚体含量显著高于免耕处理,可能与种植作物根系分泌物及试验地土壤以沙土为主有关。综上,深松后土壤有机碳含量升高,且大粒径团聚体中有机碳含量最高,表层(0 ~ 20 cm)土壤有机碳含量高于底层(20 ~ 40 cm)土壤中的有机碳含量。土壤有机碳含量越高,稳定性越好,能促进土壤中养分含量的提高,因此可以通过机械作业加强土壤养分含量,从而提高绿洲区土壤有机碳储存量。

土壤微生物量碳占土壤有机碳库的 1% ~ 4%,可以反映土壤微生物活性和土壤肥力状况^[15]。土壤微生物量碳含量与土壤有机碳含量具有显著的

相关性,在一定条件下,土壤有机质含量越高,土壤微生物量碳含量就越高^[10]。本研究结果表明,在相同耕作方式下,0 ~ 20 cm 土层土壤微生物量碳含量高于 20 ~ 40 cm 土层土壤微生物量碳含量,>2.00 mm 粒径的团聚体微生物量碳含量高于 <0.25 mm 粒径的团聚体。在不同耕作方式下,秋翻表层土壤(0 ~ 20 cm)的微生物量碳含量显著高于其他耕作方式,且大团聚体中微生物量碳含量最高,说明秋季机械翻动土壤会增加土壤大团聚体(>2 mm)微生物量碳含量,这与赵亚丽等的研究结果^[16]一致。有研究表明,通过机械化翻耕可以提高土壤有机质、氮素含量,使土壤微生物量氮含量增加^[17]。本研究发现,免耕土壤微生物量氮含量最高,并且随着土壤深度不断加大,微生物量氮含量减小,土壤发生明显的“上富下贫”现象,表明微生物量氮含量易受耕作方式的影响。对于同一粒级的团聚体,随着团聚体粒径变小,微生物量氮含量减小。该研究结果与 Balota 等的研究结果^[18]一致。

通常认为,当微生物碳与氮的比值低于 25 时,有机质更易分解,并且会出现净氮矿化的现象^[19]。在本研究中,不同耕作方式下各团聚体土壤碳氮比为 7.05% ~ 37.70%,土壤碳氮比在 0 ~ 20 cm 土层以秋翻处理最高,少耕处理最低,说明不同耕作方式使土壤碳氮比出现差异。>2.00 mm 粒径团聚体在土壤团聚体中所占比例最高。微生物熵是土壤微生物量碳与土壤总有机碳的比值,能够反映土壤

肥力。本研究结果表明,在 4 种耕作方式下,微生物熵随着团聚体粒级的降低而减小。秋翻土壤团聚体有机碳、微生物量碳含量较高,微生物熵较大,说明秋翻不利于土壤中碳的固定。免耕微生物熵却较低,土壤长期未被翻动,造成土壤微生物种类和数量较少,土壤肥效较低。该结果与徐云蕾等在森林土上得出的研究结果^[9]相似。

4 结论

在 4 种耕作方式下,有机碳、微生物量碳及微生物量氮含量随着土壤团聚体粒级变小而降低,随着土层深度增加而减小。对于秋翻方式, > 2.00 mm 粒级土壤团聚体的有机碳、微生物量碳、微生物量氮含量均最高,表明秋翻可以提高土壤微生物碳氮量和养分含量,可用于绿洲农田作物种植。

参考文献:

- [1]郭 伟. 湿润速率和表土团聚体粒径对红壤坡面侵蚀过程的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2007.
- [2]Nie M, Pendall E, Bell C, et al. Soil aggregate distribution mediates microbial climate change feed backs[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 68: 357 – 365.
- [3]刘 奎, 葛 壮, 徐英德, 等. 不同耕作方式下黑土微生物群落对干湿交替的响应[J]. 土壤学报, 2020, 57(1): 206 – 216.
- [4]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.
- [5]魏林源, 刘立超, 唐卫东, 等. 民勤绿洲农田荒漠化对土壤性质和作物产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(32): 315 – 320.
- [6]文 倩, 赵小蓉, 陈焕伟, 等. 半干旱地区不同土壤团聚体中微生物量碳的分布特征[J]. 中国农业科学, 2004, 37(10): 1504 – 1509.
- [7]Philippot L, Raaijmakers J M, Lemanceau P, et al. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere[J]. Nature Reviews Microbiology, 2013, 11(11): 789 – 799.
- [8]伏星舟, 王 立, 杨彩红, 等. 不同耕作方式对绿洲区夏玉米农田

土壤呼吸及酶活性的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 103 – 108.

- [9]Bach E M, Hofmockel K S. Soil aggregate isolation method affects measures of intra – aggregate extracellular enzyme activity[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 69: 54 – 62.
- [10]薛英龙, 李春越, 王 益, 等. 农业利用对毛乌素沙地土壤碳氮含量及微生物量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(10): 2325 – 2335.
- [11]徐云蕾, 卢凌霄, 曾馥平, 等. 喀斯特峰丛洼地不同森林土壤微生物量碳在团聚体中的分布[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(5): 636 – 640.
- [12]Beare M H, Cabrera M L, Hendrix P F, et al. Aggregate – protected and unprotected organic matter pools in conventional tillage and no – tillage soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(3): 787 – 795.
- [13]高 明, 张 薇, 王子芳, 等. 水分状况对紫色母岩发育的水稻土团聚体及有机碳分布影响[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 943 – 949.
- [14]罗有进, 赵 光, 高 明, 等. 不同植被覆盖对土壤有机碳矿化及团聚体碳分布的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(6): 117 – 122.
- [15]Philippot L, Raaijmakers J M, Lemanceau P, et al. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere[J]. Nature Reviews Microbiology, 2013, 11(11): 789 – 799.
- [16]赵亚丽, 郭海斌, 薛志伟, 等. 耕作方式与秸秆还田对土壤微生物数量、酶活性及作物产量的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1785 – 1792.
- [17]孙 瑞, 孙本华, 高明霞, 等. 长期不同土地利用方式下土壤微生物特性的变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 655 – 663.
- [18]Balota E L, Filho A C, Andrade D S, et al. Long – term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol[J]. Soil and Tillage Research, 2004, 77(2): 137 – 145.
- [19]Feng D F, Bao W K. Review of the temporal and spatial patterns of soil C : N : P stoichiometry and its driving factors[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2017, 23(2): 400 – 408.